VII REPONSES AUX QUESTIONS DU TRIBUNAL

Après avoir entendu les Parties en leurs dires et allégations, et avoir examiné les documents communiqués, l'Expert est en mesure de déposer les conclusions du présent rapport de constat d'urgence qu'il propose à l'appréciation du Tribunal, en répondant aux questions qui lui ont été posées dans le cadre de sa mission :

"ARTICLE 1 :

M. François PINCHON, demeurant 12 avenue F.D. Roosevelt, 75008 PARIS, est désigné en qualité d'Expert à l'effet de procéder à toutes les constatations utiles relatives à l'incendie susvisé et notamment :

- *localiser l'endroit où est né et s'est développé le sinistre par rapport à la frontière franco-italienne et aux limites géographiques des concessions respectives de la Société A.T.M.B. et de son homologue italienne ;*
- *si l'incendie s'est produit au moins partiellement sur le territoire français :*
  - *recueillir tous documents utiles relatifs à la sécurité dans le tunnel ;*
  - *dresser une chronologie des faits sans en rechercher la causalité ;*
  - *constater l'état de l'ouvrage public consécutif à l'incendie ;*
  - *le cas échéant, entendre toute personne utile en vue de l'accomplissement de la mission ainsi définie.*

ARTICLE 2 :

Les opérations de constat devront être faites sans apprécier les droits respectifs des Parties, la recevabilité ou le mérite de leurs prétentions, ces questions appartenant au fond du litige. Elles se dérouleront conformément aux dispositions des articles R.163 à R.170 du code des tribunaux administratifs et des cours administratives d'appel... ".

"ARTICLE 1 :
M. François PINCHON, demeurant 12 avenue F.D. Roosevelt, 75008 PARIS, est désigné en qualité d'Expert à l'effet de procéder à toutes les constatations utiles relatives à l'incendie susvisé et notamment :

VII-1 . PROCEDER A TOUTES LES CONSTATATIONS UTILES RELATIVES A L'INCENDIE SUSVISE ET NOTAMMENT LOCALISER L'ENDROIT OU EST NE ET S'EST DEVELOPPE LE SINISTRE PAR RAPPORT A LA FRONTIERE FRANCO-ITALIENNE ET AUX LIMITES GEOGRAPHIQUES DES CONCESSIONS RESPECTIVES DE LA SOCIETE A.T.M.B. ET DE SON HOMOLOGUE ITALIENNE

VII.1.1- PROCEDER A TOUTES LES CONSTATATIONS UTILES RELATIVES A L'INCENDIE SUSVISE

Ce constat s'est déroulé au cours des réunions d'expertise contradictoires suivantes :

- Vendredi 9 avril 1999, pour la réunion d'ouverture des opérations d'expertise contradictoires,
- Jeudi 22 avril 1999 (constat de l'Expert à l'intérieur du tunnel),
- Mardi 18 mai 1999 (réunion en salle),
- Jeudi 17 juin 1999 et vendredi 18 juin 1999 (constat sécurité dans le tunnel)
- Lundi 28 juin 1999,
- Mercredi 21 juillet 1999, jeudi 22 juillet 1999 et vendredi 23 juillet 1999 (prélèvements dans le tunnel et réunion en salle),
- Mercredi 1er mars 2000 (réunion en salle).

Soit au total 10 réunions d'expertise contradictoires sur place.

VII.1.2- LOCALISER L'ENDROIT OU EST NE ET S'EST DEVELOPPE LE SINISTRE PAR RAPPORT A LA FRONTIERE FRANCO-ITALIENNE ET AUX LIMITES GEOGRAPHIQUES DES CONCESSIONS RESPECTIVES DE LA SOCIETE A.T.M.B. ET DE SON HOMOLOGUE ITALIENNE

VII.1.2.A Préambule

Le cadre général de cette expertise s'inscrit dans une procédure de constat d'urgence qui doit permettre de figer une situation contradictoirement, en présence et avec l'aide de chacun.
La mission confiée à l'Expert l'a été *à l'effet de procéder à toutes constatations utiles relatives à l'incendie et notamment* :
"localiser l'endroit où est né et s'est développé le sinistre par rapport à la frontière franco-italienne et aux limites géographiques des concessions respectives de la Société A.T.M.B. et de son homologue italienne".

De la réponse à cette première partie de la mission dépendait la suite des opérations d'expertise, car il convenait au préalable de s'assurer que l'incendie s'était bien produit, au moins partiellement, sur le territoire français.

VII.1.2.B Constat du 9 avril 1999

Ce constat concernant la localisation du sinistre a été réalisé dans un premier temps à partir des documents établis par la Société A.T.M.B., et acceptés contradictoirement par les Parties présentes, l'accès au tunnel étant interdit au moment de cette première réunion d'expertise contradictoire en raison de la procédure pénale en cours.
Un schéma localisant les différents véhicules a été produit et expliqué en cours de réunion.
Des informations concernant les équipements et les informations rapportées en salle de commande ont été citées, et expliquées.
De ces premières données sont issues les premières informations relatives à la localisation du sinistre, informations qui ont pu être précisées par la visite réalisée par l'Expert le 22 avril 1999.

VII.1.2.C Constat du 22 avril 1999

Afin de compléter les informations recueillies au cours de la réunion d'expertise contradictoire du 9 avril 1999, il était indispensable de pénétrer dans le tunnel pour contrôler les informations transmises en séance lors de cette réunion contradictoire.
Dans ce dessein, l'Expert a demandé à Monsieur Frank GUESDON, Juge d'instruction à Bonneville, chargé de l'enquête judiciaire en cours, l'autorisation de pénétrer dans le tunnel.
Grâce à l'obligeance de Monsieur le Juge d'instruction de Bonneville, l'Expert a pu pénétrer le jeudi 22 avril avec Madame DERUELLE, Expert près le Tribunal Administratif de Paris, son adjointe dans cette affaire.
Ils étaient guidés et encadrés par Monsieur le Commissaire TRENQUE accompagné d'un photographe de la Police Judiciaire et d'une équipe de pompiers dirigée par son Commandant.
Le constat a été réalisé de 14 h 45 à 18 h 30.
La progression s'est faite tout d'abord dans les véhicules de sécurité puis à pied à partir du garage G18 jusqu'au garage G23.
Des clichés photographiques ont été demandés par l'Expert, et réalisés d'une part par le photographe officiel des services de la Police Judiciaire, et d'autre part par son adjointe qui utilisait un appareil photographique numérique.
Pour des raisons de sécurité et compte tenu de l'enquête pénale en cours, ces photographies ont été stockées sur cartes entreposées dans le coffre de l'Expert.
Elles ont été présentées sur écran lors d'une réunion d'expertise contradictoire.
Un plan de repérage des véhicules établi par l'administration judiciaire a servi à positionner les photographies réalisées au cours de la visite.
Un jeu complet de photographies avec plan de repérage a été transmis par la suite aux conseils des Parties qui se sont engagés personnellement et pour leur cabinet à ne communiquer aucune de ces photographies dans la presse ou à toute autre personne.

A la date de ce constat, la plupart des véhicules légers avaient été enlevés ainsi que le camion identifié n° 23 car il bloquait par sa position l'accès de la partie sinistrée du tunnel.

Cette visite a permis de confirmer sur site, à l'intérieur du tunnel, les termes de la première note de l'Expert rédigée à la suite de la réunion du 9 avril et sur pièces communiquées en séance.

L'Expert a pu constater personnellement la position des différents véhicules par rapport aux points kilométriques qui avaient été indiqués par les Parties et en conséquence, préciser la localisation de l'endroit où s'est développé le sinistre par rapport à la frontière franco-italienne et aux limites géographiques des concessions.

- Le territoire français trouve sa limite au PK 7640 entre les garages G24 et G25,
- La limite de concession se situe au PK 5800 entre les garages G18 et G19,
- Les garages G1 à G18 sont sur territoire français, sous concession française,
- Les garages G19 à G24 sont sur territoire français, sous concession italienne,
- Les garages G25 à G36 sont sur territoire italien, sous concession italienne,
- L'incendie s'est développé au PK 6540 à proximité du garage G21,
- Tous les véhicules sinistrés se situaient entre les garages G19 et G23, excepté les deux véhicules d'intervention qui ont pris feu entre les garages G17 et G19.

L'Expert confirme que l'incendie s'est bien développé en territoire français, essentiellement dans la concession italienne, et pour répondre à la question du Tribunal Administratif :

La localisation de la naissance du sinistre n'est pas déterminée précisément à ce jour.
La localisation précise de l'endroit où s'est développé le sinistre par rapport à la frontière franco-italienne et aux limites géographiques des concessions respectives de la Société A.T.M.B., et de son homologue italienne, se situe près du PK 6540, en limite du garage G21, et s'est étendue essentiellement entre les garages G19 à G23, soit en territoire français sous concession italienne.

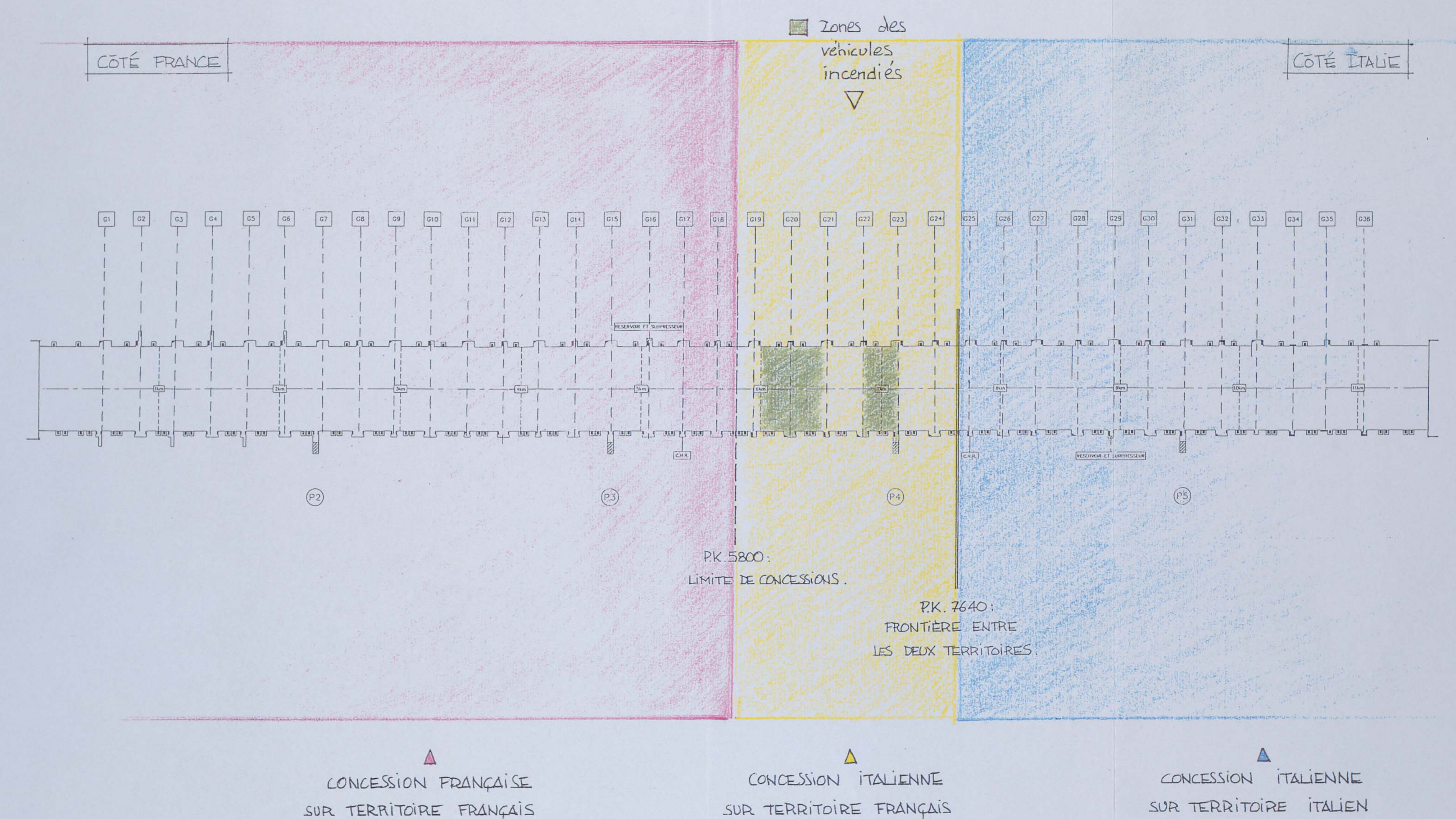
Cette affirmation a été acceptée par l'ensemble des Parties présentes à la réunion d'expertise.

L'Expert a représenté schématiquement sur un plan reprenant la longueur totale du tunnel les différentes concessions, ainsi que leur localisation en fonction de la frontière entre le territoire français et le territoire italien.

TRIBUNAL ADMINISTRATIF DE GRENOBLE

François PINCHON
N° de dossier : 9901079-5
Nos Réf. : 1081-06/04/99

LOCALISATION DES LIMITES DE TERRITOIRES
ET DE CONCESSIONS.
AVEC LOCALISATION DES ZONES D'INCENDIE.



"ARTICLE 1 :
M. François PINCHON, demeurant 12 avenue F.D. Roosevelt, 75008 PARIS, est désigné en qualité d'Expert à l'effet de procéder à toutes les constatations utiles relatives à l'incendie susvisé et notamment :

Si l'incendie s'est produit au moins partiellement sur le territoire français :

VII-2 RECUEILLIR TOUS DOCUMENTS UTILES RELATIFS A LA SECURITE DANS LE TUNNEL

L'Expert, ayant pour mission *de "procéder à toutes constatations utiles relatives à l'incendie..."*, a, pour établir son constat concernant la sécurité, établi la liste des documents transmis contradictoirement, liste dont il a extrait ceux concernant la sécurité.
Puis il a procédé à un constat visuel de l'ouvrage et des équipements en procédant à un relevé systématique à l'intérieur du tunnel, ainsi qu'à une vérification du contrôle de ceux-ci dans les deux salles de commande, côté France et côté Italie.
Ce constat s'est effectué en parcourant à pied les 11,600 km de l'ouvrage, les 17 et 18 juin 1999.
L'Expert est revenu sur certaines parties de l'ouvrage, au cours des réunions suivantes, pour parachever son analyse et la rendre contradictoire aux nouvelles Parties dans la cause.

Cette démarche lui permet :
- d'établir un constat, en matière de sécurité, de l'ouvrage et des équipements d'origine et de leurs évolutions en fonction des documents transmis ;
- d'établir la relation entre les informations transmises et le constat vérificatif visuel.

Le présent chapitre concernant la sécurité est en conséquence formé de sept parties :

1. Les documents comprenant la liste des documents transmis arrêtée à la date du 30 mars 2000,
2. L'ouvrage comprenant l'état de l'ouvrage à l'origine,
3. Les équipements comprenant :
   - Les équipements sous concession française et italienne,
   - Le constat de vérification de l'ouvrage et de ses équipements,

4. Les améliorations apportées à la sécurité – équipements et structure comprenant :
   - Le rappel des interventions concernant les modifications des installations dans le tunnel du Mont Blanc depuis 1970 jusqu'à ce jour, ainsi que des travaux d'entretien tels que l'on peut les retrouver dans les procès-verbaux de réunions de commissions de contrôle du tunnel du Mont Blanc et dans les documents d'installation et de travaux d'entretien, ainsi que dans les documents transmis par la Société A.T.M.B. et la Société S.I.T.M.B. (après traduction),
   - Les principaux investissements réalisés dans le tunnel et notamment ceux portant plus particulièrement sur la sécurité,
5. Les directives de sécurité comprenant :
   - Les documents "exploitation des installations – consignes de sécurité",
   - Le plan de secours spécialisé du tunnel routier sous le Mont Blanc,
6. Le rappel des incendies dans le tunnel dont certains ont permis le développement de recherches pour l'amélioration de la sécurité, comprenant :
   - Premier incendie dans les tunnels,
   - Les incendies dans le tunnel du Mont Blanc,
7. La maintenance des équipements et renouvellement, comprenant :
   - La maintenance préventive effectuée par l'exploitant,
   - La maintenance extérieure, commandes d'entretien ou de réparation, et contrats avec Sociétés de maintenance.

VII.2.1- DOCUMENTS

Liste des documents transmis dans le cadre du présent constat d'urgence arrêtée à la date du 30 mars 2000

Par le Tribunal Administratif de Grenoble

Le 6 avril 1999

- Ordonnance de constat d'urgence du 6 avril 1999,
- Requête aux fins de constat d'urgence comprenant en annexes :
  - Acte de concession du 7 juillet 1959,
  - Cahier des charges,
  - Dossier de presse.

Le 3 mai 1999

- Ordonnance d'extension de constat d'urgence du 3 mai 1999,
- Requête aux fins d'extension d'une même mission de constat d'urgence à de nouveaux défendeurs comprenant en annexe :
  - Pré-rapport de constat d'urgence de Monsieur PINCHON, Expert.

Le 13 juillet 1999

- Ordonnance d'extension de constat d'urgence du 12 juillet 1999,
- Nouvelle requête aux fins d'extension d'une même mission de constat d'urgence à de nouveaux défendeurs comprenant en annexe :
  - Dépositions de Monsieur Gilbert DEGRAVE,
  - Bon de commande (sans traduction en français),
  - Composition des parois de la remorque (avec traduction résumée des documents néerlandais),
  - Rapport d'expertise sur l'incendie d'un turbo Volvo modèle FH 12 du type de celui du camion 0.

Par la Société A.T.M.B.

Le 9 avril 1999

- Plan synoptique des équipements, échelle 1/10000ème + agrandissement dans la portion de garages G15 à G26,
- Synthèse provisoire des événements initiaux de l'incendie du 24 mars 1999 en date du 8 avril 1999,
- Coupe horizontale de l'usine de ventilation,
- Profils en travers :
  - Du PK 0 au PK 1450,
  - Du PK 1450 au PK 2900,
  - Du PK 2900 au PK 4350,
  - Du PK 4350 au PK 5800,

- Coupe au droit d'un garage,
- Dossier de plans (format A3) comprenant :
  - Vues en plan des garages G1 à G36 avec localisation des équipements,
  - Vue en plan du poste 4 (G23), du poste 5 (G31),
- Dossier "exploitation des installations consignes de sécurité" (17 pages + annexes),
- Dossier "réglementation de la circulation routière dans le tunnel sous le Mont-Blanc" (arrêté préfectoral n° 97-047 du 31 janvier 1997) (47 pages),
- Dossier "regolamento di circolazione del traforo del Monte Bianco" (ordinanza N.7 del Presidente della Società Italiana per Azioni per il Traforo del Monte Bianco) – sans traduction française,
- Dossier "piano di emergenza traforo Monte Bianco" (ed. 1995) – sans traduction française,
- Dossier "tunnel routier sous le Mont-Blanc plan de secours spécialisé" (arrêté n° 94-1197 du 1er juillet 1997) (arrêté +63 pages + annexes).

Le 22 avril 1999

- Coupe au droit d'un garage,
- Note du service technique et de sécurité au Directeur Général en date du 29/03/1999,
- Revue "Routes" de décembre 1967,
- Deux articles consacrés aux réparations suite à l'incendie dans le Tunnel sous la manche.

Le 17 juin 1999

- Compte rendu de la réunion des Experts judiciaires du 16 juin 1999 en vue d'organiser une "reconstitution" de l'incendie de mars 1999.

Le 28 juin 1999

a) Contrats de maintenance extérieurs, commandes d'entretien ou de réparation (une partie des contrats sur 97, 98 et 99) :
  - France Télécom : C 113 96 du 14/08/96 – ligne téléphonique spécialisée avec Transveil avec CODIS 74,
  - SACMAT : (2) C 146 97 et C 071 96 – registres AV, by-pass et extracteur,
  - ABB Service : C 153 97 – dépannage extracteur,
  - YVROUD Européennes des Fluides : (2) C 006 98 et n° 97 – entretien portes et fermetures des refuges et niche de sécurité et incendie,
  - MOTORALA : C 144 98 et n° 42 – réparation et contrat d'entretien du réseau de radiocommunication,
  - SPIE TRINDEL : C 029 99, C 068 97 et contrat du 26/10/94 – réparation et contrat de maintenance du réseau de lutte contre l'incendie,
  - SA GALLIN : C 122 87, C 059 98, C 131 97, C 135 96, C 059 98, C 103 97 – ARI, révisions annuelles, réépreuves, réparations,

- MIRI : C 026 99, C 186 97 – enregistreurs MECI (CO, opacimètres, anémomètres) – contrats d'entretien et de réparation,
- SICLI : C 057 98, C 058 96, C 052 97 – révision bi-annuelle totale du parc d'extincteurs et achat de renouvellement,
- COFISEC : C 011 98, C 201 98 – formation des équipiers de sécurité,
- SICLI : C 154 98 – maintenance des équipements de protection automatique incendie,
- MAGELEC : C 036 99 – révision des groupes électrogènes,
- MGE : CM 8363 – contrats de maintenance des onduleurs,
- UME : C 043 99, C 015 98, C 031 97, C 059 96, C 046 95 – commandes des révisions annuelles des lignes d'arbres des 8 groupes de ventilation (2 groupes/an ; révision totale de chaque groupe tous les 4 ans),
- DUMONT : C 008 99 – contrat annuel de nettoyage des piédroits, des trottoirs et de la chaussée du tunnel,
- ALCALTEL : C 122 97, C 123 97, C 124 97 – entretien lignes de sécurité et modifications,
- INFOTONIC GIROD : C 026 97 – remplacement des panneaux lumineux (exemple),

b) Tableau de planning de maintenance préventive,
c) Modification de la ventilation du tunnel : note du 29 mars 1999,
d) Eléments d'information sur l'organisation et les moyens de sécurité mis en place au tunnel (25 mars 1999),
e) Graphique des consommations électriques du 24 mars 1999 – Mémo EDF du 08/04/99,
f) Principaux investissements portant sur la sécurité du tunnel de 1978 à 1999 pour la partie française du tunnel,

- Livre photographique (présenté en réunion du 18/06/99),
- Livre photographies réalisées au droit de chaque véhicule face aux parties endommagées du tunnel,
- Rapport du CETU du 22 juin 1999 :
  - Lettre et rapport (6 pages),
  - Plan sur garage 20 (11/05/99)
  - "Evaluation des désordres sur le génie civil des ouvrages – Relevés des dégradations affectant la voûte" en date du 10 juin 1999,
  - "Evaluation des désordres sur le génie civil des ouvrages – Synoptique des désordres et repérage des véhicules" en date du 11 mai 1999.
- Plans des bouches d'extraction PK 4730 à 7170 de juin 1999,
- Elévations développées – Vue en plan PK 4730 à 5930 de juin 1999,
- Elévations développées – Vue en plan PK 5930 à 7170 de juin 1999.

Le 25 août 1999

- Comptes-rendus des 6 incidents dus à une rupture de turbo qui se sont déroulés dans le tunnel depuis 5 ans (1995 à 1999) sans incendie,
- Rapports des 6 incendies les plus importants dans le tunnel entre 1974 et 1990,
- Tableau des incendies ou débuts d'incendie dans le tunnel de 1967 à 1993,
- Avenant à l'acte de concession qui est en fait appelé "avenant à la convention entre la France et l'Italie" signé le 25 mars 1965,
- Chronologie du système des manipulations du système de la ventilation pendant le sinistre depuis 10 h le matin du 24/03/99 jusqu'à l'extinction du feu,
- Liste des modifications concertées ayant pu être apportées à la sécurité et à la ventilation depuis le démarrage de l'exploitation conjointe du tunnel constituée :
  - Par les extraits des PV de réunions de la Commission de Contrôle Intergouvernementale au cours desquelles les deux Sociétés évoquent ensemble les modifications ou rénovations à apporter,
  - Par les extraits des comptes-rendus des réunions du Comité Commun qui évoquent ces modifications,
- Liste des Parties avec leurs compagnies d'assurances et différentes polices afférentes,
- Deux liasses de 32 plans contrôlant les plans fournis lors de la réunion du 28/06/99.

Par Maître HUGLO, Conseil de la Société A.T.M.B.

Le 19 avril 1999

- Pièce 0 : Copie de la requête aux fins de constat d'urgence,
- Bordereau de transmission des pièces de 1 à 15,
- Pièce 15 : Rapport de la commission d'enquête administrative.

Le 20 avril 1999

- Projet de "requête aux fins d'extension d'une même mission de constat d'urgence à de nouveaux défendeurs".

Le 29 avril 1999

- Projet de "requête aux fins d'extension d'une même mission de constat d'urgence à de nouveaux défendeurs",
- Copie de la lettre R.A.R. de la S.D.I.S. à Monsieur CHARDON, Société A.T.M.B., du 27/04/1999.

Le 30 avril 1999

- Copie de la lettre R.A.R. de la S.D.I.S. à Monsieur CHARDON, Société A.T.M.B., du 27/04/1999.

Le 4 mai 1999

- Ordonnance du 3 mai 1999,
- Tableau recensant les Parties attraites à la cause.

Le 17 mai 1999

- Plans et tous documents concernant la réalisation du tunnel :
  - Extrait de la revue générale des Routes et Aérodromes (n° 427 de décembre 1967),
  - Plan : ventilation de la partie française du tunnel, équipements et fonctionnement,
- Liste des moyens fixes de détection et de protection :
  - Cellules d'intrusion pour chaque refuge, niche, reliée à l'alarme de chaque garage,
  - Caméras : plans et présentation (6 pages),
  - Détection incendie : plans et notice technique et manuel d'utilisation (24 pages),
- Liste des différents équipements :
  - Eclairage : profil et synoptique (4 pages),
  - Distribution électrique : plans (2 pages),
  - Radiocommunication : description (23 pages),
  - Conduite incendie : plans et synoptique (24 pages),
- Fiches techniques concernant les opacimètres et bandes d'enregistrement :
  - Notice télémesures et repérage (9 pages),
  - Analyseur de CO, UNOR 610 (4 pages),
  - Notice de l'opacimètre Westinghouse (22 pages),
  - Bandes opacimètres, CO, anémomètres (24 pages),
- Liste des moyens mobiles d'intervention (de secours) :
  - FPTL (Fourgon Pompe Tonne Léger) (1 page),
  - VPS (Pompier Secours) (1 page),
  - VSAB (Ambulance) (1 page),
    (plus une fourgonnette Renault Express et une motocyclette BMW, équipées),

  Nota : la méthodologie d'utilisation est donnée dans les fiches réflexes, en annexe des consignes de sécurité,
- Chronologie :
  - Main-courante informatique (7 pages),
- Détail et chronologie des transformations :
  - Les principales transformations réalisées dans les années 1990 sont notées dans la note au Conseil d'Administration du 16/04/99 (2 pages).

Le 28 mai 1999

- Liste récapitulative des Parties et de leurs représentants, avocats et assureurs.

Le 6 juillet 1999

- Projet de "nouvelle requête aux fins d'extension d'une même mission de constat d'urgence à 8 nouveaux défendeurs".

Le 7 juillet 1999

- Copie de la lettre de rectification de date (en page 11) adressée en R.A.R. à Monsieur le Greffier de la 5ème Chambre du Tribunal Administratif de Grenoble.

Le 16 juillet 1999

- Copie de la lettre adressée au Cabinet CLIFFORD CHANCE, à VOLVO TRUCK CORPORATION, à VOLVO TRUCKS France.

Le 21 juillet 1999

- Acceptation de la Société A.T.M.B. des devis du C.E.B.T.P. et du L.N.E.

Le 30 juillet 1999

- Rapport commun des missions administratives d'enquête technique française et italienne relatif à la catastrophe survenue le 24 mars 1999 dans le tunnel du Mont Blanc.

Le 6 août 1999

- Acceptation de la Société A.T.M.B. du devis du C.E.B.T.P.

Par la Préfecture de la Haute-Savoie

Le 20 avril 1999

- Rapport d'étape de MM. MAREC et DUFFE du 13 avril 1999,
- Document de travail du 12 janvier 1998 modifié le 29 avril 1998 "projet de concertation franco-italien concernant les interventions de secours dans le tunnel du Mont Blanc".

Par Maître STASI, Conseil de la D.D.S.I.S.

Le 30 avril 1999

- Copie d'un courrier du Président du Conseil d'Administration du Service Départemental d'Incendies et de Secours du 16/04/1999,
- Chronologie des faits établis par le Service Départemental d'Incendies et de Secours de la Haute-Savoie (mise à jour du 06/04/1999),
- Courrier du 15 janvier 1999 adressé par le Président du Conseil d'Administration du SDIS à Monsieur Le Préfet, avec copie du dossier de demande de subvention relative à la coopération pour l'amélioration des moyens de secours communs,
- Courrier du 26 janvier 1998 adressé par la Préfecture de la Haute-Savoie au Commandant des Sapeurs Pompiers en Italie transmettant le relevé de conclusions établi à l'issue de la réunion du 12 janvier 1998 au sujet de la sécurité dans le Tunnel sous le Mont Blanc,

- Télécopie du 26 juin 1998 adressé par la Préfecture de la Haute Savoie au Commandant COMTE transmettant le relevé de conclusions établi à l'issue de la réunion du 12 janvier 1998 et modifié (29/04/1998).

Par Maître TIELEMAN, Conseil de Monsieur Gilbert DEGRAVE

Le 20 mai 1999

- Copie des deux procès-verbaux d'audition de Monsieur DEGRAVE par la Police Judiciaire près le Parquet de Bruxelles des 30 mars 1999 et 1er avril 1999.

Le 21 mai 1999

- Copie de deux articles de presse, France ROUTES de mai 1999 et HOMME & CAMION de mai 1999.

Le 15 juillet 1999

- Copie du courrier de Monsieur DUPIN à Monsieur CHARDON, Société A.T.M.B., du 02/04/96,
- Copie du courrier en réponse de Monsieur CHARDON à Monsieur DUPIN du 15/04/96.

Par la S.I. TRAFORO DEL MONTE BIANCO (S.I.T.M.B.)

Le 17 juin 1999

- Dossier 1 : Chronologie des faits, main courante (1a, 1b, 1c) – sans traduction,
- Dossier 2 : Liste des dispositifs de sécurité et plans de localisation de ceux-ci (2b, 2c, 2d) – sans traduction,
- Dossier 3 : Coupes, profils en long et profils en travers (3a, 3b),
- Dossier 4 : Définition de la structure du Tunnel du Mont Blanc – sans traduction,
- Dossier 5 : Système de ventilation : fonctionnement, nombre de bouches, localisation... (5a, 5b) – sans traduction,
- Dossier 6 : Liste des modifications ayant été apportées en terme de sécurité et de ventilation/désenfumage depuis le démarrage de l'exploitation du Tunnel du Mont Blanc – sans traduction,
- "Piano di emergenza traforo Monte Bianco" + courrier de Monsieur Ing. Gian Piero BADINO, Centre de secours des pompiers de Courmayeur – sans traduction,
- Ouvrage "il traforo del Monte Bianco" – la realizzazione 1945-1965 – sans traduction,
- Plans des équipements.

Le 28 juin 1999

- "Relazione sull'incidente occorso il 24 marzo 1999 nel traforo del Monte Bianco" du 14 juin 1999 (document assermenté auprès du Tribunal de Rome – Section de Tivoli le 16/06/99) et relative traduction non officielle,
- Tableaux annexés au rapport,
- 5 photographies.

Par Maître MUYLAERT, Conseil de SA A.G. 1824

Le 6 juillet 1999

- Rapport du 01/07/99 du Professeur BOURGOIS,
- Copie des documents de transport avec en annexe la facture des marchandises – sans traduction,
- Copie en langue néerlandaise des spécifications, notamment des parois de la carrosserie – sans traduction,
- Documents émanant de la Société de droit néerlandais PACTON ainsi qu'un croquis – sans traduction,
- Descriptif du tracteur et spécifications techniques en langue néerlandaise – sans traduction.

Par Maître ASSO, Conseil de la Societa italiana per azzioni per il traforo del Monte Bianco (S.I.T.M.B.)

Le 3 août 1999

- "Relazione sull' incidente occorso il 24 marzo 1999 nel traforo del Monte Bianco" par les trois Experts de la Société Italienne Messieurs CORBO, FERRO, LUNARDI, et sa traduction "rapport sur l'accident advenu le 24 mars 1999 dans le tunnel du Mont Blanc" – idem pièce transmise le 28/06/99,
- "Sequenza temporale delgi avvenimenti con l'indicazione degli orari documentati da registrazioni impianti lato italia" et sa traduction "séquence chronologique des événements, avec indication des horaires, tels que documentés par l'enregistrement des installations côté italien" – idem pièce 1a transmise le 28/06/99,
- "Sequenze degli avvenimenti nei primi istanti" et sa traduction "heures et séquences des événements des tous premiers instants" – idem pièce 1b transmise le 28/06/99,
- "Gli implanti di sicurezza e di controllo" et sa traduction "installations de sécurité et de contrôle" – idem pièce 2d transmise le 28/06/99,
- "L'impianto di ventilazione" et sa traduction "le système de ventilation" – idem pièce 5a transmise le 28/06/99,

- "Modifiche all'impianto di ventilazione" et sa traduction "modifications à l'installation de ventilation" – idem pièce 6 transmise le 28/06/99.

Le 5 août 1999 – pièces transmises sans traduction

- "Il Traforo del Monte Bianco" giugno 1965 – Prof. VITTORIO ZIGNOLI,
- Coupe "sezione longitudinale",
- Coupes : Primo tronco, secondo tronco, terzo tronco, quarto tronco,
- Coupe "Marciapede corsia Italia-Francia",
- Coupes de 19 à 36 "sezioni del traforo – nei garage",
- "Box quadri eletrici e serrande" :
  - a) Plan "pianta nuovo box",
  - b) "Cabine vetrate",
  - c) "Nicchie S.O.S.",
  - d) Photos,
  - e) Photos,
  - f) "Condotta idrica anticentio – Lato Italia",
  - g) "Rifugi anticendio",
  - h) et i) 2 plans "pianta rifugio tipo"

  Nota : ces pièces viennent en complément de la pièce "Gli implanti di sicurezza e di controllo" transmise le 03/08/99,
- "Tavole allegate alla relazione sull'incidente occorso il 24 marzo 1999 nel traforo del Monte Bianco" du 14 juin 1999 (2 exemplaires couleur originaux des plans uniquement).

Le 27 mars 2000

- Un exemplaire couleur du document intitulé "Tavole Allegate Alla Relatione sull'incidente occorso Il 24 Marzo 1999 nel Traforo Del Monte Bianco" du 14/06/99 des Experts CORBO – FERRO - LUNARDI – sans traduction,
- "Traforo del Monte Bianco Regolamento Degli Adempimenti relativi all'esercizio del Traforò – Situazione attuale all'interno del tunnel" et sa traduction sommaire,
- "Il Traforo del Monte Bianco" du Professeur ZIGNOLI et sa traduction des pages 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44.

Le 30 mars 2000

- Cassette vidéo filmée les 25 et 28 juin 1999 par la S.I.T.M.B.

Par Maître VERSPIEREN, Conseil de la Société NV PURATOS SA

Le 31 août 1999

- Mémoire en défense transmis au Tribunal Administratif de Grenoble le 20/07/99.

Par le Laboratoire National d'Essais

Le 24 novembre 1999

- Rapport d'essai (9070100/CEMATE/1) du contrôle par thermographie infrarouge de paroi du tunnel du Mont Blanc.

Par le C.E.B.T.P.

Le 26 novembre 1999

- Compte rendu de diagnostic sur béton d'octobre 1999 (C 613.9.754).

VII.2.2 L'OUVRAGE

VII.2.2.A Préambule

L'ouvrage a été construit sur une période se déroulant de 1959 à 1965 et inauguré le 16 juillet 1965.

Le tunnel du Mont Blanc est exploité par une Société française et une Société italienne.
Ces deux sociétés exploitent le tunnel par moitié :

- Côté France il s'agit de la Société A.T.M.B.
- Côté Italie il s'agit de la Société S.I.T.M.B.

Cette exploitation s'effectue sous la surveillance de la Commission de Contrôle intergouvernementale franco-italienne à présidence alternative.
Cette Commission de contrôle intergouvernementale est composée de 7 membres français et de 7 membres italiens.
Y sont représentés les Ministères de l'Equipement et du Transport, du Trésor, des Affaires étrangères, de l'Intérieur et leurs équivalents italiens.
Cette Commission a deux Présidents, l'un italien, l'autre français.

En date de la réunion d'ouverture des opérations d'expertise, ces deux présidents étaient :
Monsieur HOFFMAN, Affaires étrangères.
Monsieur Pietro MARCHI, Ambassadeur, Président en titre.

Cette Commission exerce une activité de contrôle des travaux et de mesures d'urgence, ainsi que d'agrément éventuel des personnels.

Les travaux se font sur propositions des différents ministères représentés dans cette Commission.
L'Expert rappelle ci-dessous le décret n° 65-737 du 27 août 1965 permettant de comprendre sur quelles bases s'est établie la convention entre la France et l'Italie relative à la construction et à l'exploitation du tunnel du Mont Blanc (cf. pièce N°4 HUGLO 17 mai 1999).

"MINISTERE DES AFFAIRES ETRANGERES

Décret n° 65-737 du 27 août 1965 portant publication de l'avenant à la convention entre la France et l'Italie relative à la construction et à l'exploitation d'un tunnel sous le Mont-Blanc, signé le 25 mars 1965 (1).

Le Président de la République,
Sur le rapport du Premier ministre et du ministre des affaires étrangères,
Vu les articles 52 à 55 de la Constitution ;
Vu le décret n° 53-192 du 14 mars 1953 relatif à la ratification et à la publication des engagements internationaux souscrits par la France,

Décrète :

Article premier. - L'avenant à la convention entre la France et l'Italie relative à la construction et à l'exploitation d'un tunnel sous le Mont-Blanc, signé le 25 mars 1965, sera publié au Journal officiel de la République française.
Art. 2. - Le Premier ministre et le ministre des affaires étrangères sont chargés de l'application du présent décret.

Fait à Colombey-les-Deux-Eglises, le 27 août 1965.

(1) En vertu de l'article 10, l'avenant entre en vigueur le 16 juillet 1965.

AVENANT A LA CONVENTION ENTRE LA FRANCE ET L'ITALIE RELATIVE A LA CONSTRUCTION ET A L'EXPLOITATION D'UN TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC, SIGNEE A ROME LE 14 MARS 1953.

Le Gouvernement de la République française et le Gouvernement de la République italienne,

Considérant que la société anonyme prévue par l'article 7 de la convention entre la France et l'Italie relative à la construction et à l'exploitation d'un tunnel sous le Mont-Blanc, signée à Rome le 14 mars 1953, n'a pas encore été constituée et qu'il est ainsi apparu nécessaire d'établir provisoirement un régime d'exploitation du tunnel sous le Mont-Blanc ;

Considérant les articles 7, 8, 10 et 13 de ladite convention, l'article 11 du procès-verbal financier ainsi que les actes de concession y annexés ;

Considérant l'avis favorable des autorités suisses quant à l'application de l'article 11 du procès-verbal financier annexé à ladite convention,

sont convenus de ce qui suit :

Article premier. - L'exploitation du tunnel sera provisoirement assurée en commun par les deux sociétés concessionnaires.

Art. 2. - Chacune des deux sociétés concessionnaires de l'exploitation du tunnel s'engagera, envers celui des deux Gouvernements auquel elle n'est pas liée par un acte de concession, à prendre toutes les mesures nécessaires à l'exploitation de la totalité du tunnel.

Art. 3. - L'exploitation en commun de l'ouvrage sera réalisée conformément aux termes d'un accord de collaboration conclu par les deux sociétés, préalablement approuvé par le Gouvernement français et le Gouvernement italien.
Toute modification de cet accord devra également être préalablement approuvée par lesdits gouvernements.

Art. 4. - L'exploitation de la totalité du tunnel s'effectuera aux risques et périls des deux sociétés concessionnaires, qui seront solidairement responsables.

Art. 5. - Chacun des deux gouvernements conservera à sa charge les frais des services de douane, de police et de santé qui lui sont propres.
La police de la circulation dans le tunnel pourra être assurée par des patrouilles mixtes composées soit de personnel de police de chacun des deux Etats, soit partiellement ou même totalement par des agents assermentés de chacune des deux sociétés concessionnaires, conformément à la législation de chaque Etat. La constatation et la répression des infractions seront assurées dans les conditions et selon les modalités prévues par la législation de l'Etat sur le territoire duquel elles auront été commises.

Art. 6. - L'accord de collaboration prévu par l'article 3 du présent avenant devra prévoir :

1° La constitution d'un comité commun d'administration qui assurera les liaisons entre les deux sociétés ainsi que l'exploitation, l'entretien et la conservation de l'ouvrage et des installations annexes présentes et futures ;

2° La constitution d'un organe commun de contrôle des comptes de gestion ;

3° La responsabilité solidaire des deux sociétés à l'égard des deux gouvernements et des tiers en ce qui concerne l'exploitation, l'entretien et la conservation de l'ouvrage et des installations annexes présentes et futures ;

4° L'octroi au comité commun d'administration par les deux sociétés des pouvoirs nécessaires pour l'exécution des accords et décisions des deux gouvernements qui leur seront signifiés concernant l'exploitation, l'entretien et la conservation de l'ouvrage et des installations annexes présentes et futures.

Art. 7. - Un compte rendu d'exploitation établi en commun par les deux sociétés concessionnaires ainsi qu'un rapport de l'organe commun de contrôle prévu au 2° de l'article 6 du présent avenant seront adressés annuellement à chacun des deux gouvernements.

Art. 8. - Les recettes provenant de la gestion de l'ouvrage seront réparties par moitié entre les deux sociétés concessionnaires après déduction des sommes nécessaires à l'exploitation, à l'entretien et à la conservation de l'ouvrage, étant entendu que chaque société concessionnaire supportera les impôts, taxes et contributions de toute nature afférents à l'exploitation du tunnel et légalement à sa charge.

Art. 9. - Le comité commun d'administration prévu au 1° de l'article 6 du présent avenant comportera deux postes avec voix consultative, réservés à des représentants de l'Etat et de la Ville de Genève.

Art. 10. - Le présent avenant entrera en vigueur à une date fixée d'un commun accord par les deux gouvernements après l'exécution des procédures constitutionnellement requises dans l'un et l'autre des deux Etats.

Fait à Rome, le 25 mars 1965, en deux exemplaires".

VII.2.2.B L'état de l'ouvrage à l'origine

Sous-sommaire

1- Rappel chronologique et generalites

Le tunnel routier "le plus long du monde, à son époque, creusé sous les montagnes les plus hautes d'Europe" fut réalisé par la Société Concessionnaire française et son homologue italien de 1959 à 1965, délais d'études et investigations préliminaires exclus.

Le marché de gros œuvre fut adjugé à un groupement d'entreprises le 2 mars 1959.

Le dérochement a commencé le 30 mai 1959.

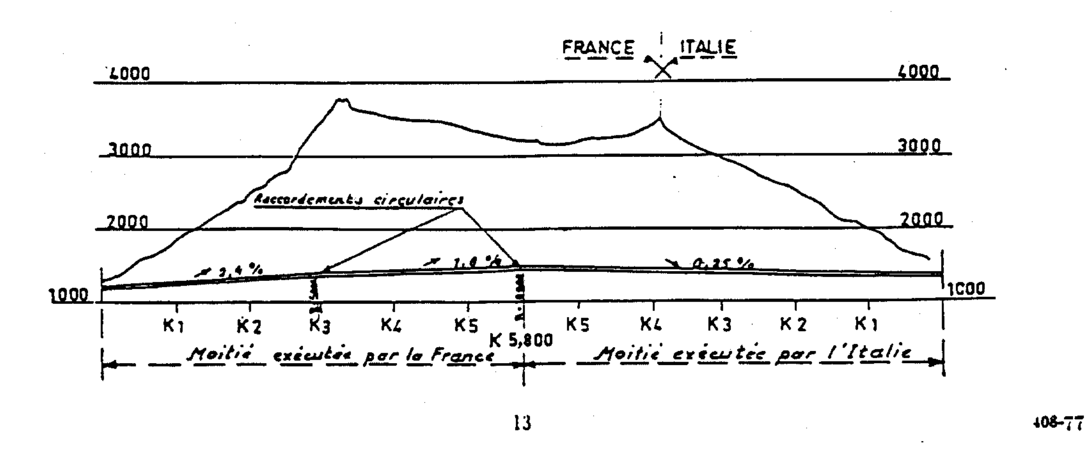
Le diaphragme de séparation entre les deux chantiers, côté français et côté italien, fut percé le 14 août 1962.

L'inauguration du Tunnel a eu lieu le 16 juillet 1965.

L'ouvrage a une longueur de 11 600 mètres et fut exécuté moitié par la participation française et moitié par la participation italienne.
La tête française est située à l'altitude 1274 m. La tête italienne à l'altitude 1381 m.
Le profil en long est le suivant :

- Côté français : rampe de 2,4 % sur 2,850 km,
  Rampe de 1,8 % sur 2,950 km,
- Côté italien : pente de 0,25 % sur 5,800 km.

Le point haut se situe à l'altitude 1 395,5 m.



(schéma 1)
Le tracé du Tunnel, rectiligne sur la plus grande partie, passe au droit de l'aiguille du Midi avec une couverture de roche de 2 500 m environ.

L'implantation géométrique de l'ouvrage a suscité de nombreuses difficultés comme on peut l'imaginer. Au jour de la percée, les écarts constatés se sont révélés inférieurs aux prévisions et constituent des résultats remarquables :

- A l'horizontale : 135 mm,
- A la verticale : 250 mm.

Rappel

Pour des raisons de bonne compréhension liée à la sécurité, l'usage veut qu'on ne parle pas de droite et gauche dans le tunnel, ce qui rendrait la localisation difficile en raison de l'utilisation du tunnel qui peut se faire de l'Italie vers la France ou de la France vers l'Italie.
On se repère en conséquence aux piédroits du tunnel :

Piédroit France Italie

Lorsque l'on parle du piédroit France Italie on se réfère au côté droit lorsque l'on pénètre dans le tunnel par l'entrée située en France pour progresser vers l'Italie, et au côté gauche lorsque l'on pénètre dans le tunnel par l'entrée située en Italie pour progresser vers la France.

Piédroit Italie France

Lorsque l'on parle du piédroit Italie France, on se réfère au côté droit lorsque l'on pénètre dans le tunnel par l'entrée située en Italie pour progresser vers la France et au côté gauche lorsque l'on pénètre dans le tunnel par l'entrée située en France pour progresser vers l'Italie.

Du point de vue géologique, le profil rencontré est le suivant :

- Du PK 0 (entrée tête France) au Km 3 environ, les roches rencontrées ont été principalement du type schistes cristallins, gneiss schisteux et micaschistes feuilletés,
- Du Km 3 jusqu'à proximité de la tête italienne, la roche était constituée de granit appelé habituellement protogine,
- Près de la tête italienne, la roche était constituée de sédiments plus récents métamorphisés par le granit.

Les études menées par les deux sociétés concessionnaires, en particulier les études englobant le gros œuvre ou génie civil dont une partie est liée au difficile problème des flux de ventilation ne furent pas achevés avant le début des travaux.

Le projet prévoyait pour chacune des deux moitiés du tunnel un cube de 375 000 m^3 de dérochement et de 65 000 m^3 de béton de revêtement.

2- DESCRIPTION SUCCINCTE DE L'OUVRAGE ET DE SA CONSTRUCTION COTE FRANÇAIS

Préambule

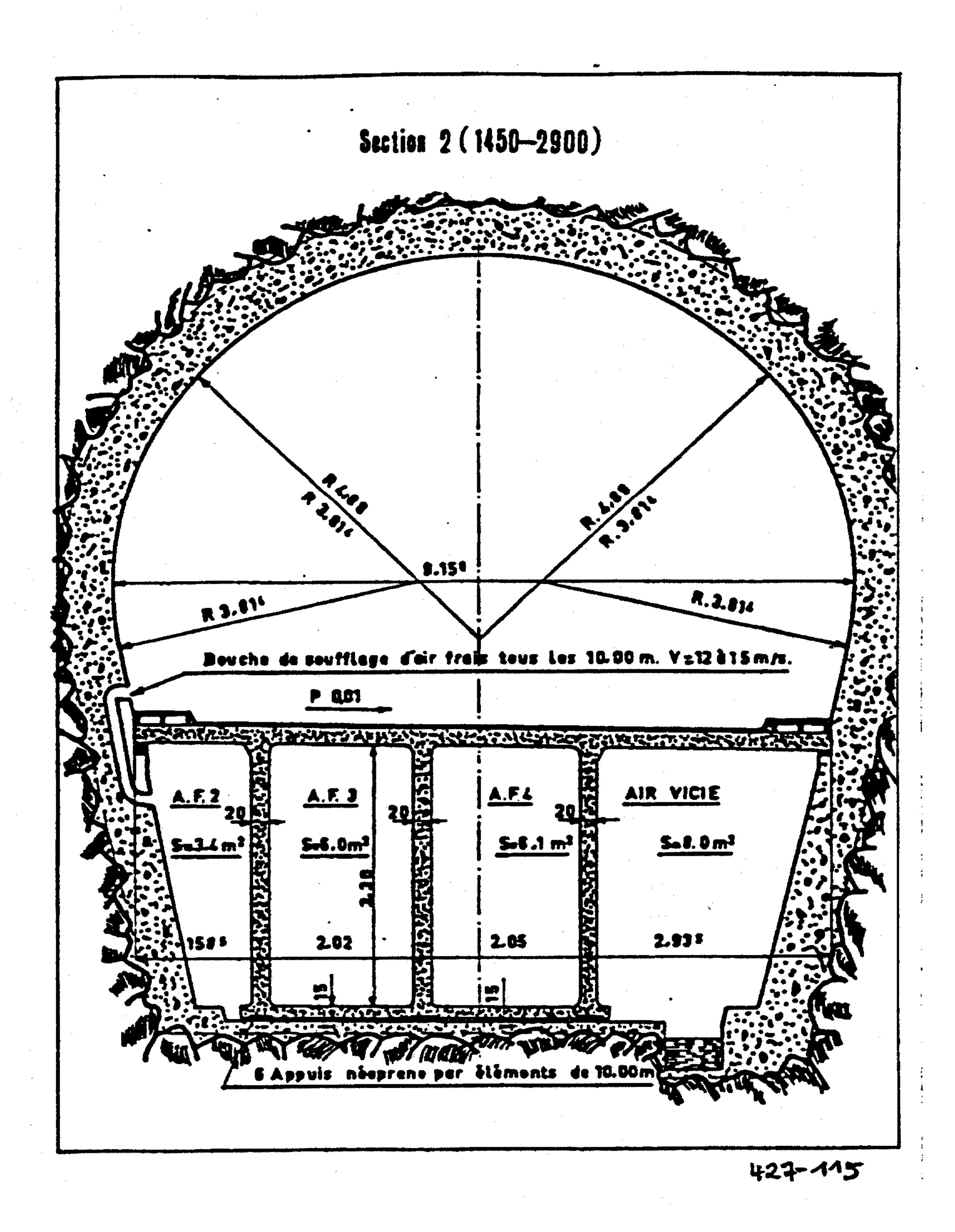
Pour bien comprendre la pathologie de la structure du tunnel au moment de l'incendie, il est indispensable de connaître les différents principes constructifs des différents travaux du tunnel.

Selon Monsieur l'Ingénieur général Auguste JOURET (Revue ROUTES), le tunnel a une section en forme de fer à cheval, la surface excavée du profil étant d'environ 80 m^2 dans la partie voisine de l'entrée jusqu'au PK 2900, et d'une valeur moindre pour la partie restante jusqu'au PK 5800, valeur estimée sur la base d'une épaisseur de 0,30 m (épaisseur minimum possible) de revêtement.

Du PK 0 au PK 5800, on compte 4 profils qui diffèrent essentiellement par la partie entre chaussée et radier.

La hauteur libre entre la chaussée et le sommet de l'intrados de la voûte est d'environ 6 m, la hauteur restante jusqu'au radier variant de 2,50 m à 3,60 m environ.

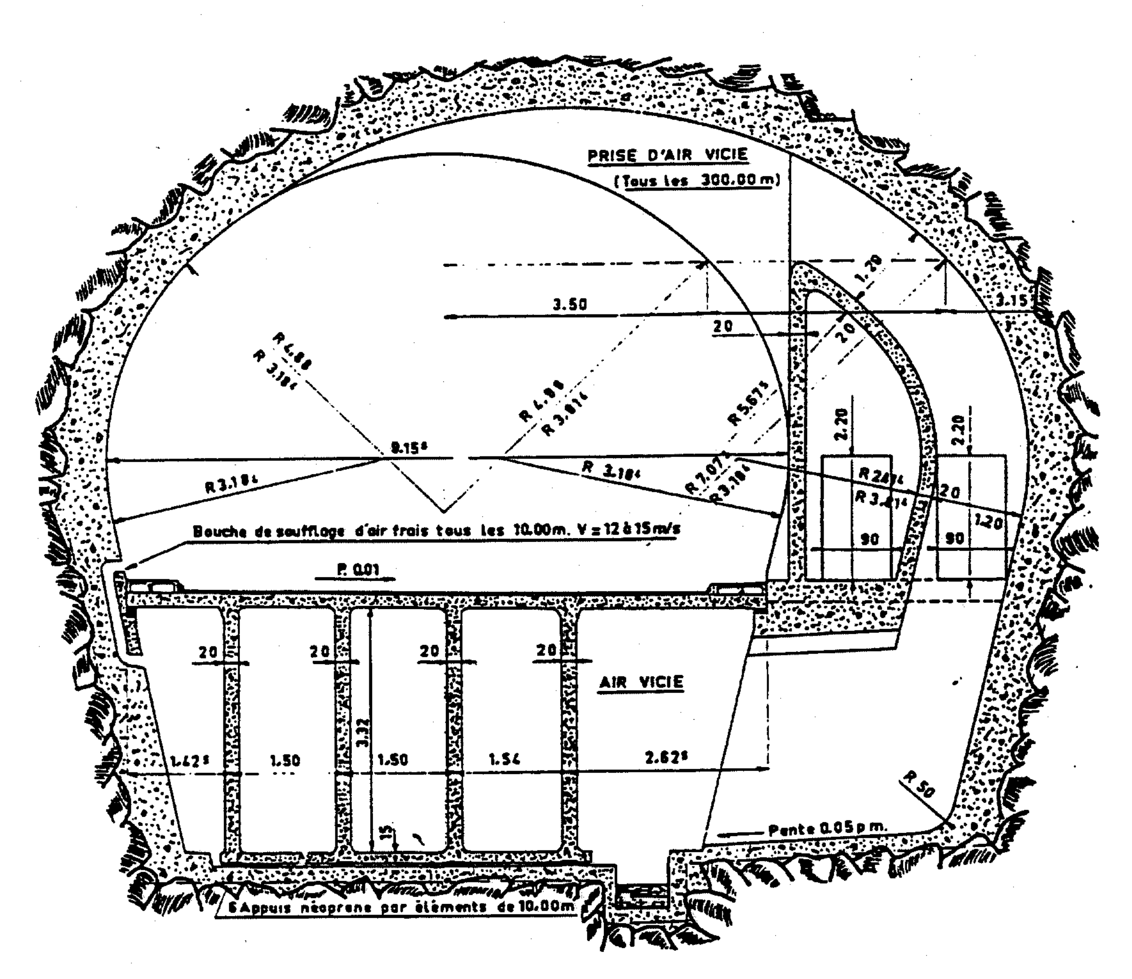
<u>PROFIL EN TRAVERS TYPE</u> : (schéma 2)



La largeur utile maximum entre piédroits est de 9,15 m, valeur réduite à 8,60 m au niveau de la chaussée dont il faut déduire 2 trottoirs de 0,80 m. Le gabarit réservé est de 2 fois 3,50 m en largeur par 4,50 m en hauteur.

La partie entre le niveau de la chaussée et le radier du tunnel est occupée par des conduits de ventilation air frais et air vicié. Ces conduits sont de section rectangulaire ou trapézoïdale pour les débits les plus grands du Km 0 au Km 2900, et de sections formées de piédroits et voûtelettes pour les débits moins importants jusqu'au Km 5800.

<u>PROFIL EN TRAVERS TYPE D'UNE PRISE D'AIR VICIE</u> : (schéma 3)



L'air frais est distribué de façon linéaire par des bouches situées tous les 10 m alors que les bouches d'extraction de l'air vicié sont situées tous les 300 m. Pour chaque moitié du tunnel soit 5800 m, les galeries de ventilation aboutissent à une usine qui comporte une salle air frais et une salle air vicié situées de part et d'autre de l'entrée.

Des groupes de garage et chambres d'évolution sont implantés tous les 300 m en situation alternée.

Chaque groupe comprend :
Un garage longitudinal de 30 m de longueur, 3,15 m de largeur utile avec 0,80 m de trottoir, à la pleine hauteur de 4,50 m. La portée totale de la voûte est alors de 12,3 m et la hauteur totale sur la chaussée de 6,65 m,
Une galerie transversale destinée à l'utilisation de plusieurs types d'équipements.

Le tunnel utilisable par les véhicules a une section d'environ 46 m^2 avec des gaines passant en dessous.
On se trouve en présence de deux ouvrages en un seul : premièrement une voie publique à circulation, deuxièmement un pont sous cette voie de 12 km.
La chaussée fait 7 m de large, soit deux voies de 3,50 m. C'est un tunnel bi-directionnel.
L'étude du tunnel a été faite par le Centre d'Etudes des Tunnels devenu le C.E.T.U.
A l'époque, les plus grands tunnels au monde ne dépassaient pas 2 km de longueur.

Tous les repères de distance sont pris à partir du point kilométrique 0 (PK 0) situé en France.

Il existe dans le tunnel une série de 36 garages dénommés G1 à G36 (cf. plan ci-avant "Localisation des limites de territoires et de concessions").

Le garage G1 est le plus proche côté français, et le garage G36 est le plus éloigné de l'entrée du tunnel côté français, et situé en territoire italien.
Le garage G1 se situe au PK 0,550, puis tous les garages sont distants de 0,300 km. Le garage G36 se situe, comme le garage G1, à 0,550 km de la fin du tunnel.

La limite théorique géographique du territoire français se situe au PK 7640, soit entre les garages G24 et G25, environ à 100 mètres de l'axe du garage G25.
La limite de concession entre la concession française et la concession italienne se situe au PK 5800, soit entre les garages G18 et G19 :
Les garages G1 à G18 sont sous concession française,
Les garages G19 à G36 sont sous concession italienne.
En conséquence :
Les garages G1 à G18 sont sur territoire français, sous concession française,
Les garages G19 à G24 sont sur territoire français, sous concession italienne,
Les garages G25 à G36 sont sur territoire italien, sous concession italienne.

3- REALISATION DU GENIE CIVIL

Celui-ci englobe principalement :

Un dérochement par creusement en galerie avec boulonnage de l'intrados,
Une mise en œuvre du béton de revêtement,
Des piédroits et voûtelettes en béton coulé en œuvre,
Des caissons préfabriqués en béton armé et précontraint permettant de reconstituer après assemblage la dalle de circulation des véhicules ainsi que la continuité des parvis des conduits de ventilation.

3.1 Dérochement de la galerie

Celui-ci a été réalisé par le procédé du Jumbo constitué par un portique de travail permettant avec des marteaux perforateurs à grand rendement d'attaquer l'excavation simultanément sur toute la surface de sa section même quand celle-ci est grande.


VUE DU JUMBO : (schéma 6)



Ce Jumbo, constitué d'une lourde charpente, roulant sur rails était équipé de 3 plates-formes superposées permettant 4 niveaux de travail y compris le sol. La longueur totale de l'appareil était de 20 mètres, sa hauteur de 9 m et la largeur de la plate-forme de 8 m.

Seize marteaux perforateurs à air comprimé équipaient le Jumbo dont le poids total en ordre de marche était de l'ordre de 100 tonnes.
L'arrière du Jumbo comportait un ascenseur à wagons pour assurer l'évacuation des produits de chaque série d'explosions (opération dite de marinage).

Pour une opération de dérochement (une volée), il était exécuté en moyenne 140 trous de mines de 44 mm de diamètre et de 4 m de longueur environ. Après perforation au marteau piqueur, le chargement des mines était réalisé par mise en place pour chaque trou de mine d'environ 3 kg d'explosif, à base de nitroglycérine, livré en cartouches.

L'avancement journalier était prévu à 3 postes de travail et estimé à 12 m/jour maximum et 10 m/jour en moyenne et environ 225 m/mois.

En fait, cette cadence ne fut que rarement atteinte.

L'adaptation de la roche à son nouvel état d'équilibre dans la zone voisine de l'excavation, compte tenu des pressions importantes de l'ordre de la tonne par cm^2, transmise par la couverture de roche, a fait l'objet d'une surveillance constante.

La limite de rupture de la roche mesurée sur cube se situe dans la fourchette 700 à 1400 Kg/cm^2. Le creusement d'une galerie fait que les lignes de force du champ des pressions divergent au-dessus de l'excavation de part et d'autre de l'axe de la galerie, se resserrent derrière les parois et se referment assez bas en dessous du radier. De ce fait, en calotte (sommet de la voûte) et sous le radier, la roche est soulagée, elle se décomprime alors qu'en paroi, elle est surcomprimée.

Au droit de l'Aiguille du Midi, l'effort aux parois pouvait être estimé à environ 2000 km/cm^2 dépassant ainsi la limite de rupture théorique. Heureusement, à cet endroit, la roche est en état de triple étreinte ce qui accroît considérablement sa résistance par frettage.

En fait, en certains endroits, il s'est produit à la paroi un léger effritement du parement avec crépitement et expulsion de poussières. Dans la voûte, ont été perçus des bruits sourds accompagnés de petits tassements de blocs de rocher.

Pour exercer cette surveillance, des mesures ont été effectuées parmi lesquelles on peut citer :

- En laboratoire : essais de compression sur cube de roche,

- Examen aux cordes vibrantes par dynamomètre sonore,
- Vitesse de propagation d'ondes sonores à travers la roche permettant de contrôler le module d'élasticité E, le coefficient de poisson σ, l'épaisseur des zones fissurées,
- Mesure de rapprochement des piédroits par fil invar.

De fait, la calotte de l'excavation ne fut pas l'objet de désordres sensibles, aucun affaissement spécifique ne fut constaté hors les parties de roche disloquées.

Des désordres plus systématiques furent observés sur les parois à un niveau voisin des reins de la voûte, principalement sous forme d'exfoliations avec éclatements superficiels vers le vide, certaines ruptures produisant des bruits sourds.

Le radier n'a fait l'objet d'aucun désordre ni gonflement. Il y a lieu de noter que le cube de dérochement en place effectivement extrait a été de 540 000 m^3.

Le Boulonnage de la roche :

Il a été réalisé par tiges d'acier engagées dans des trous forés dans le terrain. Chaque tige est ancrée à son extrémité dans la roche par un dispositif à coin, et comporte à son extrémité libre une plaque d'appui permettant par mise en traction de la tige par un écrou spécial de comprimer la roche. Son utilité est double :

- Fixer à la paroi des blocs de roches ébranlés risquant de tomber,
- Fretter les roches pour obtenir quand c'est nécessaire un anneau résistant à la périphérie de l'excavation même si la roche est fissurée.

Les boulons utilisés étaient d'une longueur entre 1,50 et 3,50 m. Du côté français, l'entreprise a posé environ 170 000 boulons dont 28 500 à titre temporaire dans les fronts de taille.

3.2 Le revêtement

L'épaisseur du revêtement béton formant voûte ne fut pas calculée. Le Maître Paul SEJOURNE, auteur du remarquable pont Adolphe à Luxembourg (pont en maçonnerie) disait : "on ne calcule pas une voûte, on la fait d'après les voûtes déjà faites".

Au projet, il fut prévu plusieurs épaisseurs :

Profil en rocher compact : 0,30 m,
Profil avec poussée de rocher : 0,50 m,
Profil avec forte poussée de rocher : 0,60 m.

En fait, à l'exécution, ces valeurs furent dépassées de 60 % environ.

Le revêtement a été réalisé en béton dosé à 250 ou 300 kg de ciment de laitier au clinker de la classe 250/315. Le bétonnage des piédroits jusqu'au niveau de la chaussée précédait de 60 m environ le bétonnage de la voûte. Le béton était mis en œuvre par projection et pervibration dans deux coffrages métalliques solidaires d'un portique sur rail qui en assurait le déplacement.

Avant la mise en œuvre du revêtement, était réalisé le captage des venues d'eau par tuyaux en polyvinyle scellés au moyen d'un ciment rapide et maintenu en attente le long des parois jusqu'au niveau du radier, puis rallongés et noyés dans le béton de ce dernier pour rejoindre le caniveau d'exhaure.

L'avancement quotidien fut aligné sur celui du dérochement, la distance entre le chantier de ce dernier et le chantier du revêtement étant d'environ 800 m.

Au droit des garages, le revêtement fut réalisé au moyen de coffrages spéciaux de grande portée.

Les essais de résistance du béton réalisés sur cubes et sur carottes ont montré une qualité moyenne du béton avec une certaine dispersion des résultats.

Avec le revêtement, étaient réalisées les bouches de soufflage d'air frais ainsi que, au niveau du radier, le caniveau de récupération des eaux au point bas de la galerie d'extraction d'air vicié (caniveau d'exhaure).
(voir détail du système schéma n° 8 ci-après)

3.3 Galeries de ventilation

Les ouvrages réalisés sous chaussée entre le niveau de circulation des véhicules et le revêtement du radier devaient comprendre des structures verticales en voiles ou en murs supportant la dalle de circulation et devaient également faire preuve d'un minimum d'étanchéité pour la constitution des galeries de ventilation.

Les exigences du cahier des charges correspondaient :

- Aux charges roulantes réglementaires et celles du char de 70 tonnes,
- Aux pressions d'air pouvant régner dans les galeries et pouvant atteindre de 700 à 1200 kg/m²,
- Aux variations de température entre l'air circulant dans le tunnel et l'air des galeries de ventilation.

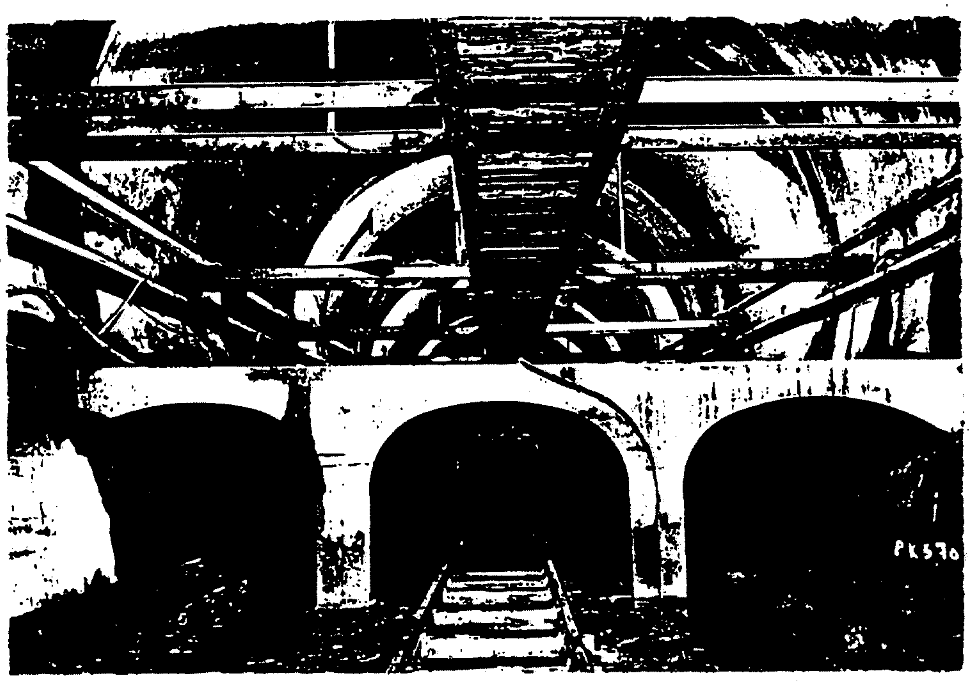
3.3.1 Galerie en voûtelettes

Entre le PK 2900 et le PK 5800, les variations de température sont très atténuées et les pressions de fonctionnement des galeries de ventilation beaucoup plus faibles que vers l'entrée du tunnel. Dans cette zone, les galeries sont moins nombreuses et moins hautes que dans la zone voisine de l'entrée.

Dans cette partie, l'ouvrage est constitué de voûtelettes de 2,50 m de portée et de forte épaisseur, 0,35 m à la clef et 1 m aux naissances, reposant sur les murs séparatifs de galeries eux-mêmes de 0,50 m d'épaisseur.

Le béton de ces voûtelettes a été coulé en œuvre.


PARTIE EN VOUTELETTES APRES DECOFFRAGE (schéma 7) :



Des joints de retrait transversaux ont été ménagés tous les 10 m et munis de garnitures d'étanchéité type Waterstop noyés au moment du bétonnage.

Il faut noter parmi les essais réalisés avant exécution des ouvrages un essai d'élasticimétrie sur modèle réduit qui a permis d'estimer la valeur des contraintes de traction du béton et de poussée des voûtes sur les piédroits du tunnel.

3.3.2 Galeries en caissons préfabriqués précontraints

Pour résoudre au mieux les problèmes de résistance d'étanchéité et de longévité des ouvrages entre le Km 0 et le Km 2900, les concepteurs ont choisi une structure en béton précontraint formée de caissons préfabriqués comportant des cloisons intermédiaires en nombre variable suivant les sections.

Ces caissons reposant sur des appuis rapprochés type caoutchouc, forment après assemblage un ensemble assurant aussi bien la continuité de la chaussée qu'il supporte que celles des galeries de ventilation ainsi constituées.

Une solution en béton armé du type classique n'aurait pas pu donner les mêmes garanties de sécurité vis-à-vis des fissurations.

Une précontrainte longitudinale fut introduite à l'aide de vérins plats reportant leur poussée sur des culées fixes situées aux deux extrémités de l'ouvrage.

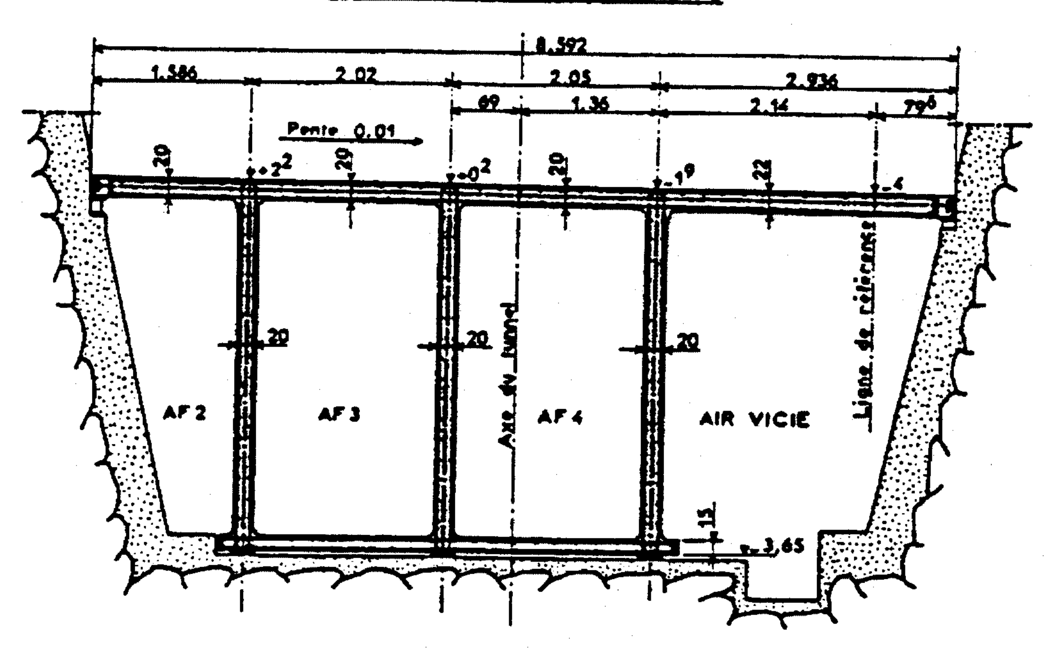
En plus, la dalle supérieure a été précontrainte transversalement par mono fils pour parfaire la garantie de non fissuration.

Il était nécessaire de s'assurer, entre autres, que compte tenu des pertes dans le temps par relaxation du béton, la section des caissons reste toujours comprimée quelle que soit la température de l'ouvrage.
A titre indicatif, dans la partie rectiligne de l'ouvrage côté français, il faut utiliser des vérins Freyssinet répartis sur 15 plans de joints "actifs" pour la longueur totale de 2 624 mètres.

Le cahier des charges prescrivait que la contrainte dans le béton de par les réglages de précontrainte et les variations de température, ne devait, en aucun cas, être supérieure à 165 kg/cm2 ni inférieure à 15 kg/cm2.

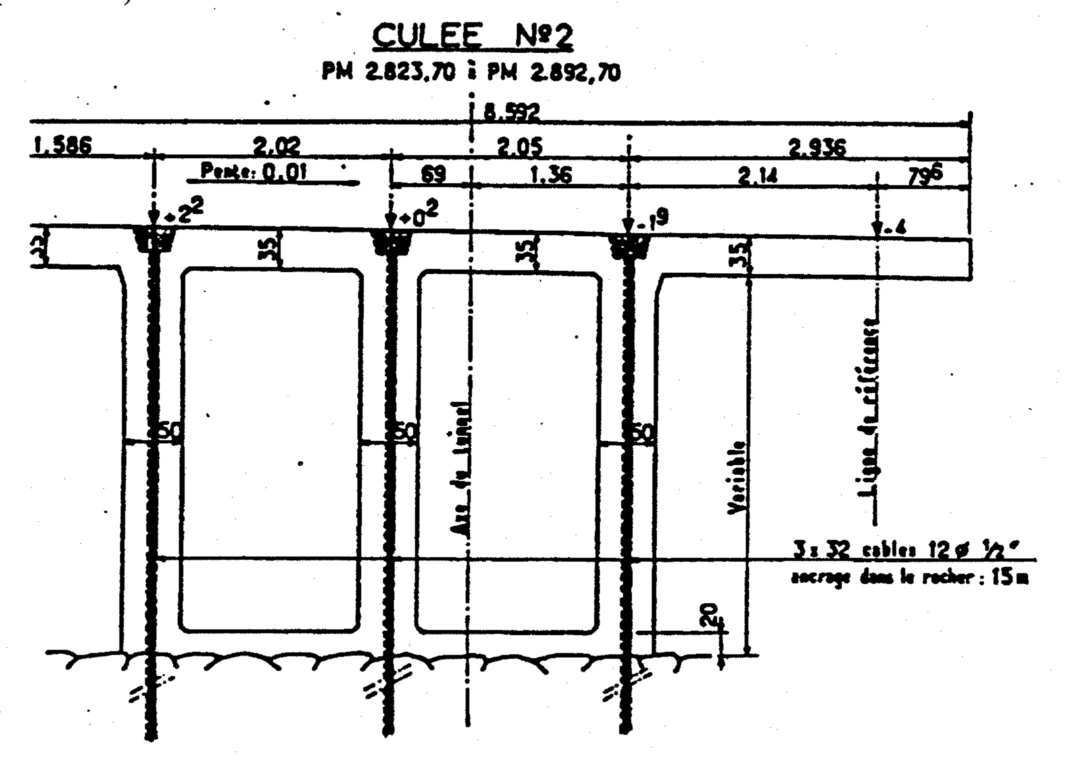
La partie courbe de l'ouvrage, à l'entrée, fut précontrainte par câbles.

Caisson à 3 cloisons (Schéma 8) :



A titre d'exemple, la culée n° 2 est constituée d'un caisson avec des dimensions renforcées : cloisons verticales de 0,35 m d'épaisseur au lieu de 0,20 m et hourdis supérieur de 0,35 m au lieu de 0,20 m.

(schéma 9)



Le caisson est ancré dans le rocher par câbles descendant à environ 15 m sous le radier.

Les caissons préfabriqués formant la partie courante de la chaussée et des galeries reposent sur le radier du tunnel par l'intermédiaire d'appuis caoutchouc placés sous chaque cloison à l'entraxe de 6 m pour chaque tronçon préfabriqué de 10 m.

Chaque appareil d'appui est constitué par 2 plaques de 6 mm d'épaisseur en néoprène frettées par une plaque de 1 mm en acier inoxydable collée sur une des faces. Deux plaques sont posées l'une sur l'autre afin de permettre leur glissement respectif lors du raccourcissement des caissons par mise en œuvre des vérins des joints actifs.

Les caissons ont été préfabriqués à partir de 18 fonds de moule situés sur une plate-forme devant l'entrée du tunnel, équipée de ponts roulants de 6 tonnes de capacité pour la manutention des coffrages métalliques, des panneaux d'armatures et du béton.

En section courante, la fabrication était de trois caissons par jour, mais il y eut des ruptures de cadence dues à la variété des types de caisson (10 types différents pour 264 caissons).

Le temps nécessaire à la fabrication d'un caisson était de 6 jours y compris le séchage nécessaire.

Un caisson courant à 3 cloisons pesait environ 120 tonnes et un caisson à 4 cloisons 140 tonnes.

Pour permettre le démoulage et la manutention des caissons, un profilé métallique de forte inertie servant de palonnier venait se fixer sur la dalle supérieure de façon à raidir la structure et éviter l'apparition de tractions dans le béton.

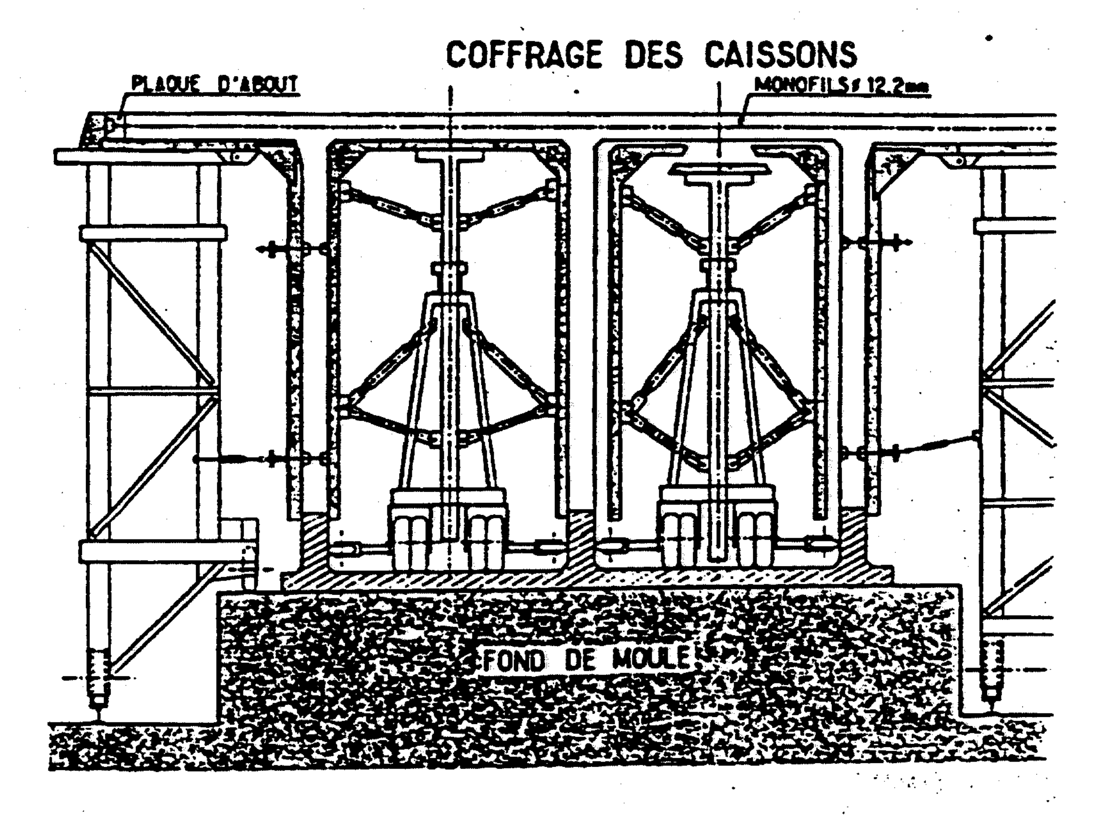
Le cube de béton pour l'ensemble des caissons représentait environ 16 600 m^3. La résistance à la compression du béton demandée au cahier des charges était de 430 bars à 90 jours ; la résistance atteinte a souvent dépassé les 500 bars.

Afin de suivre l'évolution de la précontrainte par relaxation du béton des caissons, un dispositif de mesures fut mis en place pour connaître :

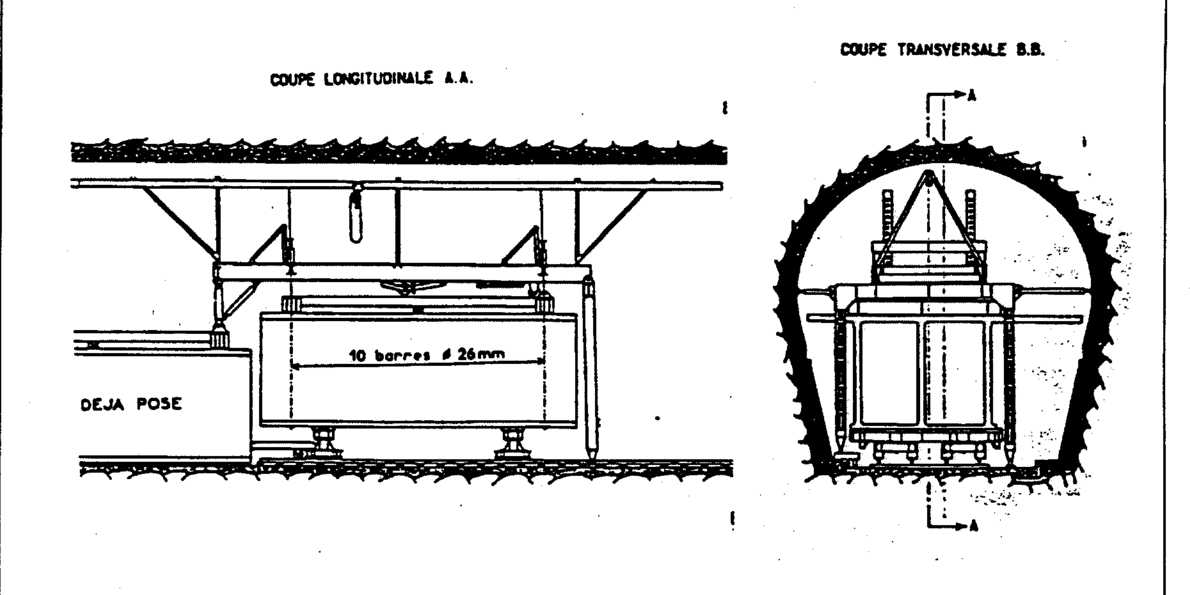
- Les contraintes dans le béton des caissons dans 3 joints de mesures indépendants des joints actifs,
- La température du béton au voisinage des 3 joints de mesures,
- Les déplacements et déformations éventuels de l'ouvrage sous l'effet des variations de température ou lors des opérations de vérinage.

D'autres types de mesures furent mises en œuvre en particulier : le coefficient de dilatation du béton et le coefficient de frottement des appareils d'appui.

COFFRAGE DES CAISSONS DANS L'ATELIER DE PREFABRICATION :
(schéma 11)



ENSEMBLE DU DISPOSITIF DE MANUTENTION DES CAISSONS PREFABRIQUES :
(schéma 12)



3.4 Le revêtement des chaussées du tunnel et de la plate-forme d'accès

"La couche de roulement de la chaussée du tunnel sous le Mont Blanc est constituée par un tapis d'enrobés à chaud, mis en place sur la dalle en béton formant conduits de ventilation.

Dans la partie construite en voûtelettes, on disposait d'une hauteur de 15 cm : il a été mis en place une couche de base de 11 cm d'enrobés semi-denses 0/25 avec couche d'accrochage par émulsion cationique à raison de 0,5 kg/m^2, après lavage et brossage du béton, et une couche de 4 cm de béton bitumineux 0/12,5 (bitume 60/70). Dans la partie sur dalle précontrainte, on ne disposait que de 4 cm et il a été mis la couche de roulement ci-dessus (avec un bitume 80/100), compte tenu des différences de température par rapport à la partie centrale du tunnel.

Des recherches ont été faites sur l'obtention éventuelle d'une bonne clarté de la chaussée par incorporation de matériaux siliceux ou projection d'aluminium expansé, sans que ces méthodes semblent apporter d'avantages déterminants au regard de leur coût. Il était demandé une excellente planéité puisque le coefficient Viagraphe devait être inférieur à 1.

Le béton bitumineux devait avoir à l'essai Marshall une compacité de 95 % et une stabilité de 900 kg et à l'essai Duriez une compacité de 92 à 94 %, une résistance avant immersion de 60 kg/cm2 et un rapport immersion-compression 0,80.

Les granulats sont les produits de concassage de l'Arve à hauteur des Houches, qui sont d'excellents matériaux.

Les chaussées construites sur la plate-forme d'accès du tunnel sont constituées d'une couche de base de 11 cm en matériaux enrobés et d'une fondation en tout-venant concassé 0/80 recevant une couche de roulement de 4 cm identique à celle de la première partie de la galerie, qui a été exécutée un an après la couche de base, celle-ci ayant reçu une couche de liaison de 3 cm. Cette structure a été allégée dans les zones ne recevant pas de trafic lourd.

Dans la zone d'entrée du tunnel, la couche de roulement, sur 600 m2 environ, a été équipée d'un chauffage par conducteur du type Pyrotenax noyé dans l'enrobé, afin d'assurer une bonne viabilité à l'arrêt et au démarrage des véhicules au péage, et au personnel des services d'exploitation appelés à circuler fréquemment dans cette zone.

La puissance installée est de 171 watts par mètre carré et la puissance totale 118 kW.

L'utilisation en est faite sans détecteur de verglas, mais par mise en route par thermostat réglé à 2° environ : ce chauffage est donc préventif et systématique, les nuits, les mois d'hiver ; la consommation est souvent importante et correspond par grand froid à un fonctionnement quasi permanent à l'exclusion des heures de pointe de la fourniture d'énergie électrique pour éviter pour l'ensemble des installations un appel de puissance inutilement élevé".

4- LE RESEAU SEPARATIF EN TUNNEL

"ARTICLE 1.4 - DESCRIPTION DU RESEAU SEPARATIF EN TUNNEL

1.4.1 - DESCRIPTION DE L'EXISTANT

Les dispositions actuelles peuvent être décrites schématiquement comme suit :

A) Les eaux des piédroits (suintements provenant du terrain, eaux de lavage des piédroits, projections par les véhicules) sont recueillies pour chaque piédroit par une cunette située au contact piédroit/trottoir. Les eaux sont évacuées selon un espacement de 150 ml environ (sauf exception de zones de plus forts suintements des piédroits) dans les gaines de ventilations sous chaussée situées à l'aplomb des trottoirs.

Les eaux, recueillies sur le piédroit Italie France, s'écoulent sur le radier des gaines de ventilation AF1, AF2, AF3 ou AF4, selon position géographique en tunnel, et sont rejetées selon un espacement variable dans la cunette de la gaine d'air vicié, par l'intermédiaire de puisards de recueil, de siphons et de passages sous les gaines de ventilation.

Les eaux, recueillies sur le piédroit France Italie, sont collectées dans un caniveau situé en radier de la gaine d'air vicié.
Ce caniveau collecte les eaux jusqu'au voisinage de la tête française du tunnel. Les eaux traversent la chaussée sous les gaines de ventilation, rejoignent la galerie de visée où elles sont recueillies dans un caniveau rectangulaire fermé et collectées jusqu'en tête de galerie. Elles sont rejetées ensuite dans le ruisseau du Dard par l'intermédiaire d'un collecteur et d'une descente d'eau.

B) Les eaux de drainage en provenance du terrain sont recueillies et collectées de la façon suivante :

- *Eaux de suintements de piédroits recueillies par les cunettes de bord de trottoir, suivant les dispositions visées ci-dessus ;*
- *Les grosses arrivées d'eau en piédroit font l'objet d'un captage et d'un rejet direct dans les gaines de ventilation, sous chaussée ;*
- *Eaux de suintement ou grosses arrivées d'eaux en piédroit des gaines de ventilation sous chaussée. Elles s'écoulent librement en piédroit (ou le cas échéant, on fait l'objet d'un captage et de rejet) et sont recueillies en radier ou en caniveau en radier de gaine de ventilation, selon les dispositions décrites en A) ci-dessus.*

C) Les eaux de chaussée sont recueillies par des regards situés au pied de la bordure de trottoir. Leur espacement est variable selon le côté de chaussée considéré, la chaussée étant pentée de façon unique en profil en travers du piédroit Italie-France, vers le piédroit France-Italie. Les regards situés le long du trottoir France-Italie recueillent donc l'essentiel des liquides étalés sur la chaussée.

Les eaux sont descendues jusqu'au radier de gaine de ventilation, et rejetées (pour trottoir France Italie) par l'intermédiaire d'un siphon dans le caniveau en radier de gaine d'air vicié.

Les eaux de chaussées prennent ensuite le circuit d'évacuation et de rejet décrites en A) ci-dessus.

D) Les eaux de lavage des parements de piédroit font l'objet de dispositions particulières.

Les opérations de lavage comprennent trois opérations élémentaires décalées :

- *aspersion du parement avec un détergent biodégradable,*
- *opération proprement dite de lavage à l'aide de brosses et de projection d'eau,*
- *brossage du bord de chaussée, des trottoirs et de la cunette de bord de trottoir, avec aspiration simultanée de l'essentiel des eaux de lavage.*

Le reliquat de produits liquides et dépôts solides solvables est recueilli par le système de collecte des eaux de piédroits et des eaux de chaussées défini en A) et B) ci-dessus.

1.4.2 - PRINCIPE GENERAL DU RESEAU SEPARATIF

1.4.2.1 - Principe de collecte

Compte tenu du dévers unique de la chaussée vers le piédroit France-Italie, les eaux de chaussées, et/ou les liquides déversés accidentellement sur celle-ci, sont récupérées préférentiellement le long du trottoir France-Italie. Cet état de fait conduit à des systèmes d'évacuation et de collecte des eaux différents selon le bord de chaussée concerné.

A) Piédroit France-Italie

- *Bord de chaussée*

Un avaloir est créé tous les 50 m, grâce à la réalisation d'un carottage. Ces avaloirs déboucheront en toit de la gaine d'air vicié. Du P.M. 120 au P.M. 2900, la création d'avaloirs consiste en un réalésage des trous existants.

- *Cunettes*

Un avaloir est créé environ tous les 100 m, grâce à la réalisation de carottages. Les avaloirs déboucheront dans la gaine d'air vicié.

B) Piédroit Italie-France

- *Bord de chaussée*

Seuls les avaloirs situés au niveau des garages sont maintenus (1 avaloir par garage).

Cunettes

Le principe est identique à celui décrit pour la cuvette France-Italie. Les avaloirs débouchent dans les gaines d'air frais.

1.4.2.2 - Collecteurs et conduites

Côté France-Italie - Gaine d'air vicié

Le collecteur, en gaine d'air vicié, sera situé en piédroit de la gaine d'air vicié, au-dessus de la conduite incendie. Il recueillera les liquides provenant des avaloirs créés en bord de chaussée et dans les cunettes.

Côté Italie-France - Gaines d'air frais

a) Du P.K. 0,12 au P.K. 2,34 (portion non séparative)

La collecte sera réalisée à l'aide d'une cunette béton en radier de gaines d'air frais (AF1 + une partie d'AF2). Celui-ci recueillera la totalité des eaux (eaux claires provenant du terrain, eaux de lavage). Le passage entre AF1 et AF2 sera réalisé par l'intermédiaire d'un carottage.

b) Du P.K. 2,24 au P.K. 5,3

Le collecteur traversera et sera situé successivement dans les gaines de ventilation d'air frais AF2, AF3, AF4 et sera raccordé au collecteur de la gaine d'air vicié par l'intermédiaire d'une traversée des gaines AF3 et AF4. Ce collecteur recueillera les eaux provenant des avaloirs créés dans les cunettes et au niveau des garages (1 par garage).

Traversées et évacuation à l'extérieur du tunnel

Au P.K. 0,12, le collecteur de la gaine d'air vicié rejoindra une traversée sous gaines de ventilation en direction de la galerie de visée, ou il sera mis en place dans le caniveau existant, une conduite permettant d'acheminer les eaux du réseau séparatif à l'extérieur du tunnel. La cunette béton rejoindra, par l'intermédiaire d'un forage sous le radier de gaine AF1, la conduite en galerie de visée.

1.4.2.3 - Profil en long

Collecteur de gaine d'air vicié

Le profil débute au P.M. 120 (P.K. 0,12). Le collecteur est fixé contre la paroi de la gaine, l'axe de la conduite est situé environ 3,04 m au-dessus du radier de la galerie d'air vicié. On observe alors depuis ce point, les pentes suivantes, ceci de façon à garder un écoulement gravitaire.

P.M.	*120*	*à*	*P.M.*	*2820 : 2,4 %*
P.M.	*2820*	*à*	*P.M.*	*2875 : 1,6 %*
P.M.	*2875*	*à*	*P.M.*	*5685 :1,8 %*

Du P.M. 5685 au P.M. 5800, la conduite suit le rayon 10000 m, en restant à 1,37m au-dessus du radier de la gaine.

A partir du P.M. 4350, les portes d'accès à la gaine d'air vicié (au niveau de chaque Garage 15, 16, 17 et 18), devront être modifiées pour permettre le passage du collecteur sans gène vis-à-vis de l'ouverture de celle-ci (objet d'un autre marché).

Collecteur en gaines d'air frais

Le profil débute au P.M. 2340, l'axe de la conduite est situé environ 3,02 m au-dessus du radier de la gaine d'air frais. On observe alors, les pentes suivantes :

P.M. 2340 à P.M. 2850 : 2,4 %
P.M. 2850 à P.M. 2995 : 1,6 %
P.M. 2995 à P.M. 5685 : 1,8 %

Du P.M. 5685 au P.M. 5800, la conduite suit le rayon 10000 m, en restant parallèle au radier de la gaine.

On se rapproche ainsi à partir du P.M. 2850, progressivement du trottoir (ou radier) des gaines d'air vicié.

1.4.2.4 - Caractéristiques dimensionnelles des collecteurs

Les deux collecteurs principaux situés dans la gaine d'air vicié et dans les gaines d'air frais, seront dimensionnés, en ce qui concerne les fixations (consoles, colliers, etc.) et les appareils et matériels annexes (antibélier, purge d'air), en prenant en compte la réalisation de "chasses de nettoyage" de 3 à 5 m3, effectuées depuis le garage 16 avec un débit maximum de l'ordre de 50 litres par seconde, et en prenant en compte le poids des canalisations pleines.

1.4.2.4.1 - Collecteur en gaine d'air vicié

Le collecteur sera une canalisation en tube inox de série 316 L de 2 mm d'épaisseur et de diamètre nominal DN 200 mm, dont les tubes seront raccordés entre eux par des raccords de type ALVENIUS K10 ou VITAULIC similaire.

Afin de protéger cette canalisation contre le gel, le tronçon du P.K. 0,12 à P.K. 2,33 sera tracé par câbles électriques chauffants régulés et un calorifugeage par coquille en laine de verre de 30/40 mm d'épaisseur sera mis en œuvre autour de la conduite, conférant une température moyenne à l'intérieur de la conduite de + 5° C par - 20° C ambiant à l'intérieur du tunnel comme à l'extrémité et par un vent de 5 m/s.

Le calorifugeage sera protégé mécaniquement.

Canalisations :

La canalisation transitera dans la gaine d'air vicié, accrochée au piédroit par des consoles en acier inox. Les éléments de tube (6 m) seront raccordés entre eux par des colliers de raccordement.

Le collecteur sera raccordé tout au long de son transit en gaine d'air vicié, aux avaloirs de chaussée et de cunette. La liaison se fera à l'aide de tubes constitués comme suit, en fonction de leurs localisations :

- *Tube descente de chaussée ou garage en acier inox de série 316 L de 2 mm d'épaisseur, de diamètre DN 70 mm,*
- *Tube descente de cunette réalisé depuis le trottoir, en acier inox de série 316 L de 2 mm d'épaisseur, de diamètre DN 70 mm,*
- *Tube descente de cunette réalisé en partie depuis les galeries de ventilation, en acier inox de série 316 L de 2 mm d'épaisseur et de diamètre DN 100 mm, la partie du carottage réalisée depuis le trottoir étant tubée en PVC de diamètre extérieur 70 ou 75 mm.*

Le raccordement entre tube des descentes et tube du collecteur se fera à l'aide de naissances ou Tés soudées inox sur inox qui auront un diamètre adapté aux différents piquages des eaux d'avaloirs chaussée (DN 100) et cunettes (DN 70). Les tés ainsi constitués seront raccordés à leurs extrémités à l'aide de colliers de raccordement.

La canalisation sera équipée, aux P.M. équivalents à l'axe de chaque garage, de naissances orientées à 45° par rapport à l'axe de la conduite et dirigées vers le radier de la gaine, vers la France. Ces naissances auront un diamètre DN 100, une longueur axiale de 20 cm par rapport au diamètre extérieur du tube porteur, et seront équipées d'un bouchon muni d'un robinet de vidange d'eau DN 20.

Aux P.M. 850 et 3250 (garages 2 et 10), le bouchon sera remplacé par une vanne à papillon DN 100, à commande manuelle par volant et prolongé par un coude et tube en direction du caniveau de la gaine sur 2 m. Une vanne d'isolement DN 200 sera également mise en place sur le collecteur principal à l'aval de la naissance. Ce système permettra ainsi des opérations de "by pass" vers le caniveau de la gaine d'air vicié.

1.4.2.4.2 - Collecteurs en gaines d'air frais

A) Du P.M. 110 au P.M. 2340

La collecte des eaux, dans ce tronçon, ne sera pas séparative. Il sera réalisé une cunette béton après canalisation provisoire des eaux présentes dans les gaines et nettoyage de la surface du radier des gaines. Cette cunette sera armée de treillis soudés du type P 100 et un joint sera mis en place tous les 20 m.

L'épaisseur minimale de la cunette réalisée sera de 50 mm. La surface de béton sera talochée. Le passage entre les gaines de ventilation AF1 et AF2 sera effectué à l'aide d'un carottage de diamètre 200 dont le fil d'eau sera aligné avec le fil d'eau des cunettes. Les aciers découpés par le carottage seront enduits d'un revêtement anticorrosion pour la protection des armatures du béton armé. Le carottage sera ensuite revêtu d'un enduit ou mortier de surfaçage.

Les descentes d'avaloirs de cunette ou de garages seront prolongées par des tubes polyéthylènes souples fixés au piédroit de la gaine, jusqu'au trottoir, et inclinés à environ 30° en direction de l'Italie pour limiter la pénétration de l'air, due à la ventilation, dans ces tuyaux.

Au P.M. 120 (bout aval de cunette), la cunette sera reliée au forage Ø 200 mm sous gaine AF1, réalisé depuis le local de la galerie de visée, permettant un raccordement avec la conduite en galerie de visée par l'intermédiaire d'un regard dans le local de la galerie de visée.

B) Du P.M. 2340 au P.M. 5800

Le collecteur sera une canalisation en tube PVC pression de première fonte, d'épaisseur minimale 6 mm, de diamètre extérieur 160 mm et de pression nominale PN 10.

Le raccordement entre éléments de tube se fera à l'aide du raccord de type TEEKAY en acier inox, devant permettre une reprise des mouvements de dilatation thermique des éléments. Ces raccords ne reprenant pas les mouvements de fond, des points fixes pour chaque tube doivent être envisagés, afin d'éliminer tout risque de déboîtement.

La canalisation transitera dans les gaines d'air frais (AF2 à partir du P.M. 2340, AF3, AF4), accrochée au piédroit par des consoles en acier inox. On tiendra compte, pour le dimensionnent et le montage des canalisations en gaine d'air frais, des problèmes liés à la dilatation thermique du matériau du collecteur, en prenant comme hypothèse un montage effectué à environ 25° C et une variation possible de - 25° + 5° C par rapport à cette valeur. Ceci, afin d'éviter tout déboîtement, fatigue ou dommages, du fait des déformations de dilatation thermique, des canalisations.

Les passages à travers gaines (AF2 ∅ AF3 ; AF3 ∅ AF4) seront réalisés à l'aide d'un carottage ∅ 200. Les aciers découpés par les carottages seront enduits d'un revêtement anticorrosion. Le vide entre canalisation et paroi sera rempli de mortier.

Le collecteur sera raccordé tout au long de son parcours dans les gaines d'air frais aux avaloirs de cunette et de garage ou galerie de retournement. Les tubes des descentes seront en polyéthylène haute-densité.

La canalisation sera équipée, aux P.M. équivalents aux niches de sécurité (cf. vue en plan), de naissances orientées à 45° par rapport à l'axe de la conduite et dirigées vers le radier de la gaine, en direction de la France.

Ces naissances de diamètre 110 mm, auront une longueur axiale de 30 cm et seront équipées d'un bouchon, muni d'un robinet de vidange DN 20.

Au P.M. équivalent à la niche IF 09, le bouchon sera remplacé par une vanne à papillon DN 100 à commande manuelle par volant et de tube PVC prolongé jusqu'au radier ou trottoir de la gaine. Une vanne d'isolement DN 160 sera placée sur le collecteur principal à l'aval de la naissance. Ce système permettra ainsi des opérations de "by pass".

1.4.2.5 - Conduites des traversées

Deux traversées seront réalisées :
- *Une au P.M. 2340, reliant le collecteur des gaines d'air frais au collecteur de la gaine d'air vicié,*
- *Une au P.M. 120, reliant le collecteur de la gaine d'air vicié au local de la galerie de visée.*

La traversée du P.M. 2340 partira du collecteur en gaine d'air frais, à 45°, et traversera les gaines de AF2, AF3, AF4, et GAV pour rejoindre le collecteur Inox de la gaine vicié à 45°.
Il sera réalisé, au niveau du coude de départ de cette traversée (PVC en gaine d'air frais n° 2), un massif en béton ancré sur la paroi de la gaine, englobant le coude, afin d'éviter tout déboîtement au moment de la réalisation de chasses. Ce massif sera ancré par l'intermédiaire de quatre HA 12, scellés au mortier sans retrait sur au moins 40 cm.

Le passage à travers gaines se fera grâce à la réalisation de carottages ∅ 200 mm. Les aciers sectionnés par les carottages seront enduits d'un revêtement anticorrosion. Le calage du vide existant entre le carottage et le tube acier sera effectué avec un mortier de scellement à retrait compensé.

La traversée au P.M. 120 sera reliée au collecteur de gaine d'air vicié (descente) et aura un diamètre DN 200. Elle sera en inox 316 L de 3 mm d'épaisseur. Cette traversée passera sous les gaines de ventilation dans un carottage ∅ 300, pour rejoindre le local de la galerie de visée.

1.4.2.6 - Conduites en galerie de visée

Une conduite en fonte ductile DN 300, noyée et fixée en fond de caniveau existant, reliera la conduite de la traversée du P.M. 120 (au niveau d'un regard dans le local de la galerie de visée), à la sortie de la galerie de visée.

1.4.2.7 - Avaloirs de chaussée, cunette, garage et galerie de retournement

A) Avaloirs de chaussée

Seul le côté France-Italie de la chaussée sera équipé d'avaloirs. Pour cela, des carottages à deux diamètres (120 mm sur 10 cm et 80 mm sur le reste) seront réalisés en bordure de trottoir, sur la chaussée. Du P.M. 120 au P.M. 2900, l'implantation exacte des carottages sera à préciser sur place en fonction des repérages des câbles de précontraintes, présent dans la dalle sous chaussée, effectués préalablement aux travaux par le Maître d'Œuvre. Si, un câble précontraint était rencontré lors de la réalisation du carottage, celui-ci sera abandonné, bouché au mortier, puis recommencé à côté de l'ancienne implantation.

Les aciers passifs sectionnés par le carottage seront enduits d'un revêtement anticorrosion, et l'espace entre le tube et le carottage sera rempli à l'aide d'un coulis époxydique sans retrait ou similaire.

Les carottages seront ensuite tubés en acier inox DN 70 de série 316 L de 2 mm d'épaisseur, sur la hauteur du forage ∅ 70, plus 10 cm de pénétration dans la gaine, soit environ 30 cm pour les avaloirs des sections 1 et 2, et 70 cm pour ceux des sections 3 et 4. Ce tubage sera façonné, avant mise en place, sur l'extrémité située dans la galerie, pour raccordement par raccord Vitaulic ou Alvénius avec le Té de piquage.

Un élément, associant un tube inox 316 L de 10 cm de hauteur et une grille en tôle perforée inox circulaire, sera glissé dans le carottage ∅ 120. L'élément grille, ainsi défini, pourra être enlevé par simple soulèvement.

B) Avaloir de cunettes, côté France-Italie

Du fait de la présence des plaques d'about dans la dalle sous chaussée, au droit des cunettes, du P.M. 120 au P.M. 2900 (sections 1 et 2), les carottages des avaloirs de cunettes obéissent à des principes différents selon les sections :

- *Du P.M. 120 au P.M. 2900 (sections 1 et 2)*

Leurs carottages seront réalisés en deux phases. Un carottage ∅ 80 mm, réalisé depuis le trottoir du tunnel, puis, un carottage ∅ 120 mm, réalisé depuis la galerie de ventilation, rejoignant le précédent carottage ∅ 80 mm.

Le carottage, réalisé depuis le trottoir sera tubé, sur toute sa longueur en PVC, de diamètre extérieur 75 mm et scellé au coulis époxydique. Le carottage ∅ 120, réalisé depuis la galerie, sera tubé inox de diamètre DN 100 de 2 mm d'épaisseur, par le prolongement de la naissance sur le Té, au moment de la pose du collecteur en gaine d'air vicié, puis, scellé à la résine (coulis époxydique).

- *Du P.M. 2900 au P.M. 5800 (sections 3 et 4)*

Les carottages, réalisés depuis les niches ou les coins de garage et galerie de retournement, seront faits entièrement depuis la chaussée en ∅ 80 mm. La partie sommitale du carottage sera tubée (sur 50 cm) et scellé depuis le trottoir en PVC de diamètre extérieur 75 mm. Le reste du carottage sera tubé, en inox DN 70 de 2 mm d'épaisseur et scellé au coulis époxydique, par le prolongement de la naissance du Té, au moment de la pose du collecteur de la gaine d'air vicié.

Les carottages, effectués en profil courant, seront réalisés en deux phases. Un carottage ∅ 80 mm vertical, depuis le trottoir, puis, un carottage ∅ 120 mm réalisé depuis la gaine de ventilation, rejoignant le précédent carottage ∅ 80 mm.

Le tubage des deux carottages sera identique à celui décrit pour les carottages de cunettes France-Italie du P.M. 110 au P.M. 2900.

Une grille (tôle perforée) en acier inox sera mise en place (découpage et scellement au mortier) en tête d'avaloirs.

C) Avaloirs de cunettes, côté Italie-France

Le principe des carottages est identique au côté France-Italie, seuls les matériaux des tubages changent.

Les tubages en inox des carottages ∅ 120 mm, réalisés depuis les galeries au moment de la pose du collecteur en gaines d'air frais, sont remplacés par des tubes Polyéthylène de diamètre extérieur 110 mm.

La partie des tubages en inox, mis en place depuis les galeries, des carottages ∅ 80 mm réalisés entièrement depuis le trottoir (au niveau des niches et coin de garage), sont remplacés par des tubes Polyéthylène de diamètre extérieur 75 mm.

Des grilles (tôle perforée) en acier inox seront également mises en place en tête d'avaloirs.

D) Avaloirs de chaussée des garages et galerie de retournement, côté France-Italie

- *Du P.M. 120 au P.M. 2900 (sections 1 et 2)*

Des carottages mixtes ∅ 120 mm et ∅ 80 mm seront réalisés aux extrémités des garages ou galerie de retournement. Ces avaloirs seront équipés d'un "élément grille" identique aux avaloirs de chaussée.

Ils seront tubés et scellés de façon identique aux avaloirs de chaussée.

- *Du P.M. 2900 au P.M. 5800 (sections 3 et 4)*

De la même façon, des carottages mixtes ∅ 120 mm et ∅ 80 mm seront réalisés aux extrémités des garages ou galerie de retournement. Ces avaloirs seront équipés d'un "élément grille" identique aux avaloirs de chaussée.

Ils seront tubés et scellés en partie depuis les garages sur 20 cm de profondeur en inox de diamètre DN 70 mm. L'autre partie du carottage sera tubée en Inox DN 70 mm avec le prolongement de la naissance du Té, puis scellé, le tout au moment de la pose du collecteur en gaine d'air vicié.

E) Avaloirs de chaussée des garages et galerie de retournement, côté Italie-France

- *Du P.M. 120 au P.M. 2900 (sections 1 et 2)*

Des carottages mixtes ∅ 120 mm et ∅ 80 mm seront réalisés aux extrémités des garages ou galerie de retournement. Ces avaloirs seront équipés d'un "élément grille" identique aux avaloirs de chaussée.

Ils seront tubés, depuis les garages, de façon identique aux avaloirs de chaussée, mais avec du PVC de diamètre extérieur de 75 mm de 5 mm d'épaisseur. L'espace entre carottage et tube sera traité de façon similaire aux avaloirs de chaussée.

- *Du P.M. 2900 au P.M. 5800 (sections 3 et 4)*

De la même façon, des carottages mixtes ∅ 120 mm et ∅ 80 mm seront réalisés aux extrémités des garages ou galerie de retournement. Ces avaloirs seront équipés d'un "élément grille" identique aux avaloirs de chaussée.

Ils seront tubés et scellés en partie depuis les garages sur 20 cm de profondeur en PVC de diamètre extérieur 75 mm. L'autre partie du carottage sera tubée en Polyéthylène, puis scellée, le tout au moment de la pose du collecteur en gaines d'air frais.

1.4.2.8 - Conduites de chasses

Des conduites de chasses, reliées aux deux collecteurs principaux (gaines d'air frais et gaine d'air vicié), seront mises en place depuis le local Réservoir Incendie situé au garage 16".

5- La ventilation

5.1 Rappel des premiers projets de ventilation

"Le premier projet de ventilation a été dressé en 1935 par M. CAQUOT à la demande de M. Arnold MONOD lorsque le projet de tunnel ferroviaire a été transformé en tunnel routier à la suite des conversations de Locarno.

Les caractéristiques de ce projet étaient les suivantes : trafic possible de 350 véh./h, débit d'air de 460 m^3/s dans l'ensemble du tunnel réalisé selon le système transversal avec deux galeries longitudinales comme dans les tunnels américains, l'une au-dessous de la chaussée, l'autre au-dessus du plafond. Chaque galerie avait une section variable de 15 m^2 à l'entrée à 7,5 m^2 au milieu du tunnel, la section totale d'excavation à l'entrée était une ellipse de 9 m ∞ 12 m, le grand axe étant vertical et la section excavée avait 85 m^2.

Il y a lieu de rendre hommage à M. CAQUOT d'une si large conception de vue en 1935, à une date où l'extension du trafic routier n'était qu'à peine amorcée.

Ce projet n'eut pas de suite car des difficultés internationales surgirent à cette époque entre la France et l'Italie".

5.2 Choix du type de ventilation

"Il a été imaginé un système intermédiaire entre les systèmes transversaux et semi-transversaux en ne construisant pas de plafond, mais en effectuant une prise d'air vicié au sommet de la voûte à des distances de 300 m correspondant aux élargissements des garages. La section affectée aux véhicules sert de galerie d'évacuation d'air vicié, mais les fumées sont éliminées au plus 300 m après leur production, ce qui évite leur accumulation aux têtes extrêmes. Ces prises aboutissent dans une galerie longitudinale d'air vicié sous chaussée parallèle aux galeries d'air frais. Il n'était pas possible cependant, pour des raisons financières entraînées par l'augmentation de section, de prélever la totalité du débit d'air vicié, comme cela est fait dans tous les systèmes transversaux. En augmentant les vitesses des circuits d'air frais jusqu'à 26 m/s, il a été possible de ménager une galerie d'aspiration de l'air vicié de 2,52 m 1,75 m d'une section de 4,42 m^2 qui permet d'aspirer la moitié du débit d'air vicié avec une vitesse de 25 m/s.

Pour améliorer encore le système proposé, et favoriser l'évacuation des fumées au centre du tunnel où, en période de calme extérieur, elles auraient tendance à s'accumuler en raison également du point haut du profil en long, il nous a paru possible d'envisager un réglage des bouches d'aspiration qui soit tel que leur débit croisse progressivement de zéro à l'entrée, jusqu'au maximum au centre, où l'aspiration d'air vicié atteint ainsi le débit des bouches d'air frais de 512 l/s tous les 10 m.

Ce schéma triangulaire réalise ainsi une ventilation purement transversale au centre du tunnel ; aux extrémités l'évacuation par la tête de la moitié du débit d'air frais n'est pas gênant, la vitesse maximale étant de l'ordre de 3 à 4 m/s.

D'un autre point de vue, ce système peut servir de secours partiel par une combinaison appropriée de l'aspiration seule d'air vicié dans la moitié du tunnel en panne avec entrée de l'air frais par la tête et la ventilation normale dans l'autre moitié".

5.3 Choix de l'emplacement des galeries de ventilation – sectionnement transversal et longitudinal

"Le Tunnel du Mont Blanc a des galeries de ventilation qui sont toutes placées sous la dalle de chaussée".
(schéma 17 – Figure 3)

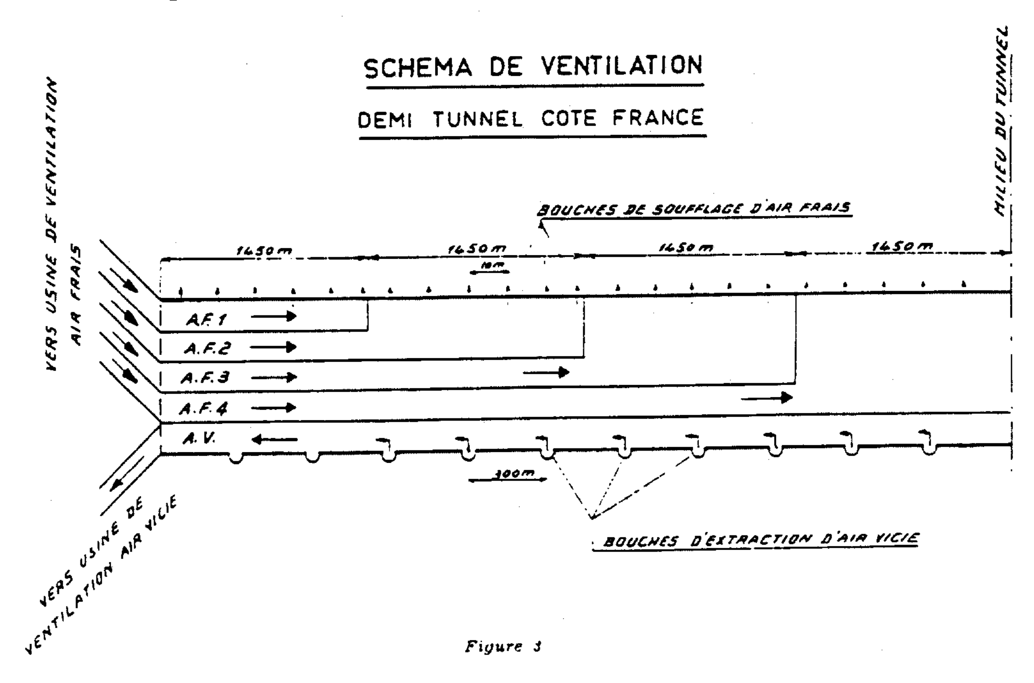


Figure 3

"L'espace réservé sous la dalle de chaussée a été divisé en un nombre variable de compartiment (figure 3 schéma de ventilation) dont les dimensions sont :

- *Partie de 0 à 1 450 m (schéma 18 – fig.4) 4 conduites d'air frais dont :*
  1 de distribution de 2,9 m^2
  3 de transit de 4,3 et 4,4 m^2
  et 1 conduite d'air vicié de 6,9 m^2

Au total, dans ce tronçon, les galeries de ventilation ont une section de 22,8 m^2.

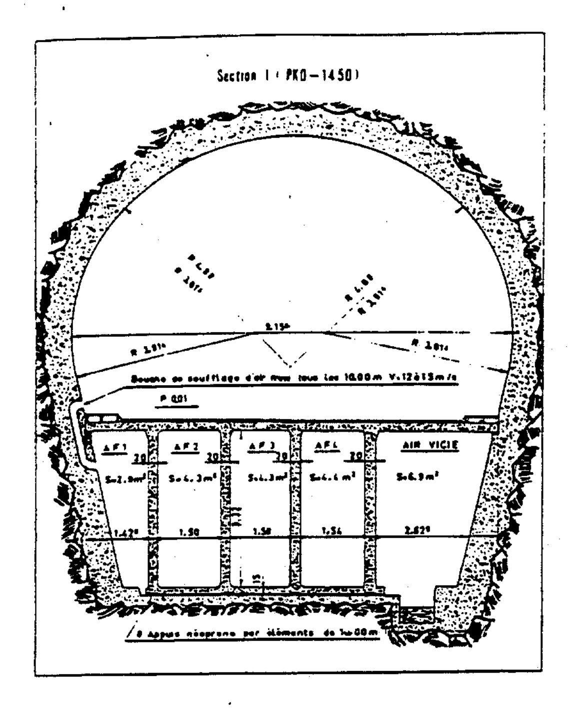
- *Partie de 1 450 m à 2 900 m (schéma 18 – fig. 5) 3 conduites d'air frais dont :*
  1 de distribution de 3,4 m^2
  2 de transit de 6 et 6,1 m^2
  1 conduite d'air vicié de 8m^2

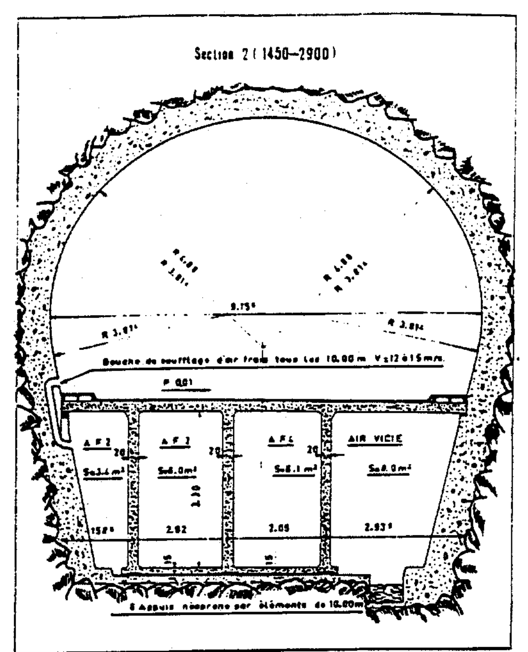
Au total, dans ce tronçon, les galeries de ventilation ont une section libre de 23,5 m^2.

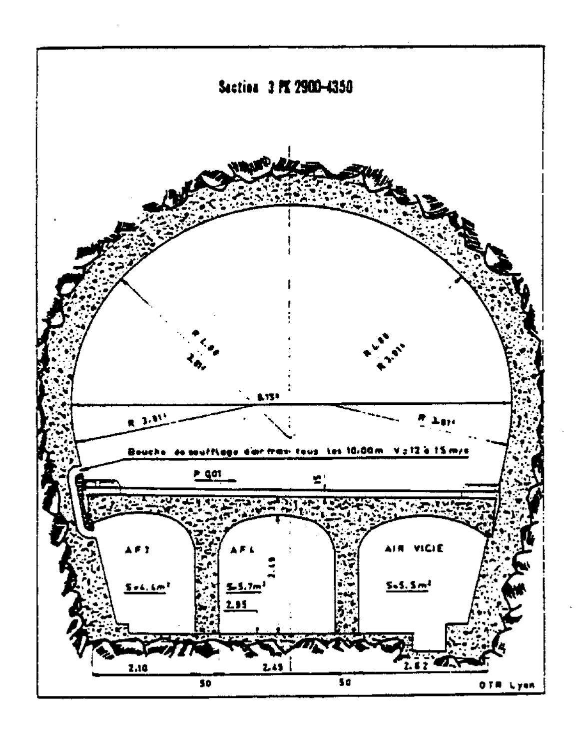
- *Partie de 2 900 m à 4 350 m* (schéma 18 – *fig. 6) 2 conduites d'air frais dont :*
  1 de distribution de 4,4 m^2
  1 de transit de 5,7 m^2
  1 conduite d'air vicié de 5,5 m^2

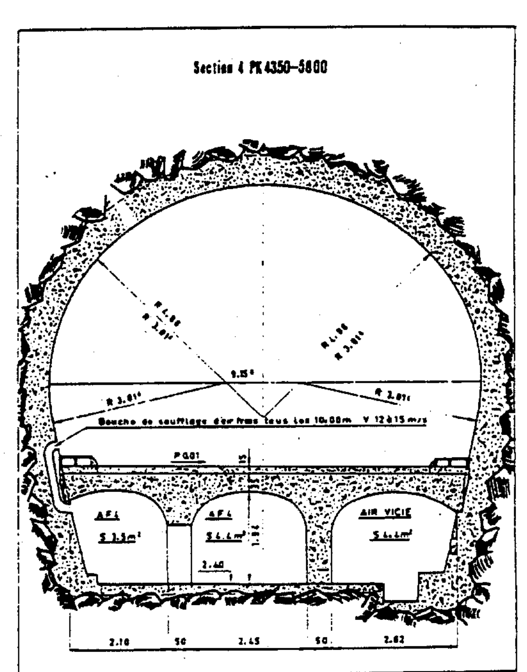
Au total, dans ce tronçon, les galeries de ventilation ont une section de 15,6 m^2.

(schéma 18)









Figures 4 - 5 - 6 et 7 - Profils en travers-types.

- *Partie de 4 350 m à 5 900 m (schéma 18 – fig. 7)*

  1 galerie de distribution de 5 900 m constituée par deux galeries de 3,5 et 4,4 m^2, séparées par une cloison avec larges trous

  1 galerie d'air vicié de 4,4 m^2

Au total, dans ce dernier tronçon, les galeries de ventilation ont une section libre de 12,3 m^2.

La figure 8 du schéma 19 ci-après (profil en travers d'une galerie d'air vicié) donne le détail de l'aspiration de l'air vicié au sommet de la voûte, tous les 300 mètres, à l'extrémité des garages latéraux conduisant l'air dans la conduite générale d'aspiration d'air vicié, allant du milieu du tunnel à l'usine de ventilation en tête.

La surface excavée du profil de 0 à 2 900 m avec 0,30 d'épaisseur de revêtement est de 79,9 m^2 ; si l'on enlève les galeries de ventilation avec le revêtement correspondant des piédroits, la section de 53,67 m^2 ".

(schéma 19)

Figure 8 - Profil en travers-type d'une prise d'air vicié.

5.4 Caractéristique d'ensemble du projet définitif reconstituée par l'Expert

	N° des galeries	*Pression (mm CE)*	*Débit (m^3/s)*	*Puissance sur l'arbre ventilateur (kW)*	*Vitesse de rotation*		*Puissance abordée aux bornes des moteurs (kW)*
					Ventilation (t/mn)	*Moteur (t/mn)*	
Air frais	*1*	*241*	*75*	*204,8*	*845*	*1 000*	*233*
	2	*351*	*75*	*321,4*	*1 160*	*1 000*	*363,8*
	3	*375*	*75*	*340,2*	*1 190*	*1 000*	*385*
	4	*415*	*75*	*359,8*	*1 215*	*1 000*	*407,2*
Air vicié	*5*	*554*	*50 x 3*	*370,7 x 3*	*1 305*	*1 000*	*419,5x3=1 258,5*
				Puissance totale aux bornes des moteurs			*2 647,5*
				Puissance totale appelée pour le réseau H.T.			*2 701,5*

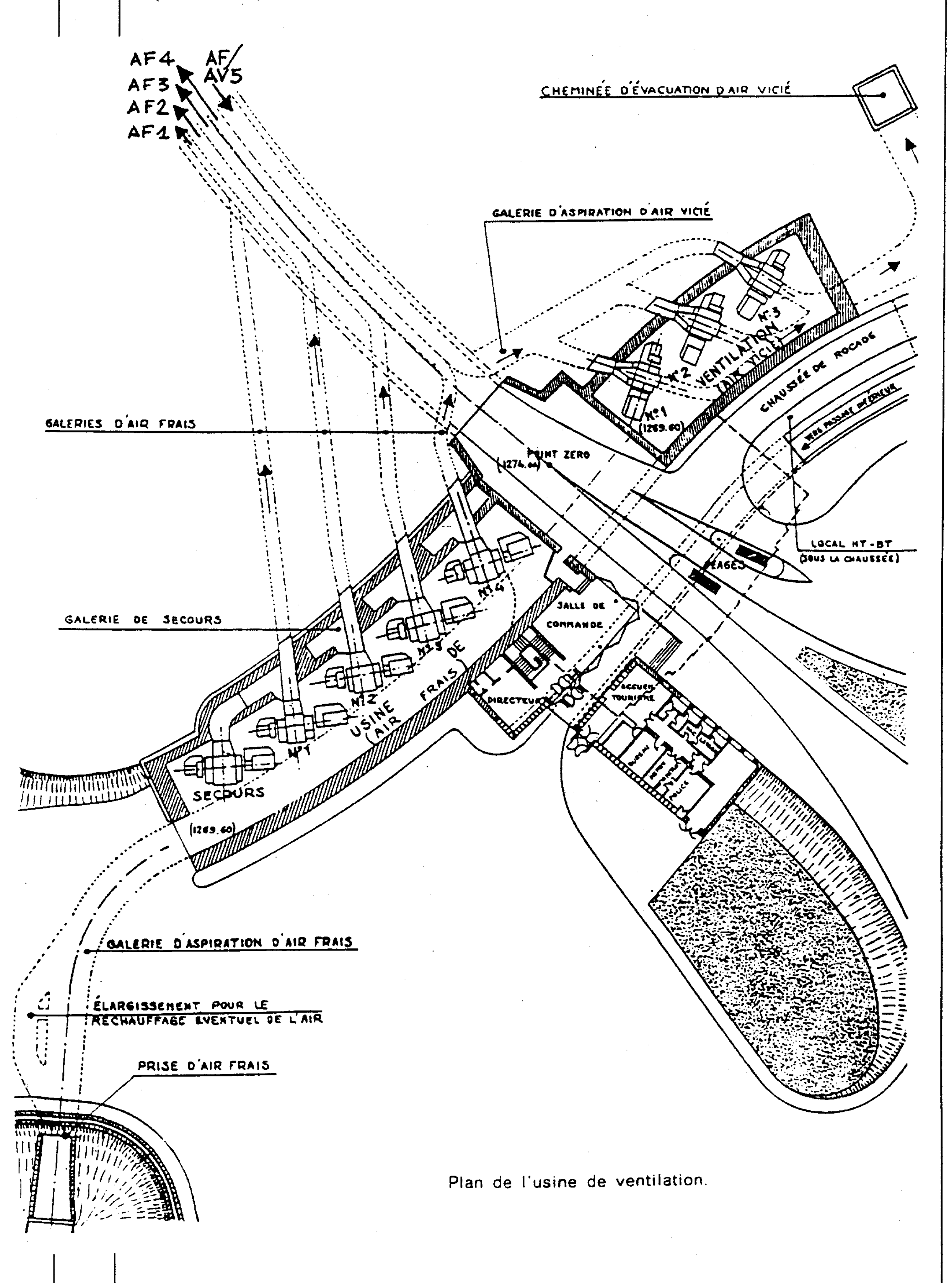
5.5 Usine de ventilation

"L'usine de ventilation côté France (schéma 20) est située à l'entrée du tunnel, elle est adossée à la montagne. Elle comporte à gauche, en entrant, les cinq ventilateurs d'air frais et à droite les trois ventilateurs d'air vicié. Elle a été construite à l'air libre. Elle comporte des murs massifs et un toit très résistant recouvert de remblais destinés à présenter une grande rigidité.

Elle a une largeur de 11,00 m et une hauteur libre de 7,80 m sous les poutres transversales de 1,30 de hauteur. La longueur totale de l'usine air frais est d'environ 51,00 m.l., celle de l'usine air vicié, d'environ 29,00 m.l., avec un compartiment entre les deux usines de 14,50 situé sous la chaussée et servant à divers services (chauffage – réfrigération, etc.).

Le niveau du sol de l'usine est situé à la cote 1 269,69 soit légèrement plus bas que le niveau inférieur des galeries de ventilation.

(schéma 20)



Plan de l'usine de ventilation.

Ainsi que l'indique le schéma 20, les ventilateurs d'air frais aspirent dans une galerie inférieure au sol de l'usine de 4,50 x 6,70 m, et d'une longueur d'environ 65 m.l. jusqu'à une baie d'aspiration grillagée, située loin de la sortie du tunnel, sur le flanc de la montagne.

On est ainsi assuré que l'air aspiré est exempt de tout mélange avec l'air vicié sortant du tunnel. Les ventilateurs soufflent dans des galeries de 1,50 m de largeur creusées dans le rocher, rejoignant celles situées dans le tunnel à des distances variables conditionnées par le génie civil et le souci d'obtenir de bons raccordements. Le ventilateur de secours situé le plus loin du tunnel souffle dans une gaine de 2,00 x 2,00 située à l'arrière du mur de l'usine avec des raccordements au tunnel de chaque ventilateur. En cas de panne, une vanne guillotine manœuvrée à la main isole le ventilateur en panne et ouvre la gaine de la galerie de secours.

Un verrouillage électrique permet d'éviter les fausses manœuvres. Les ventilateurs d'air vicié aspirent dans une galerie-mère de 3,00 m de largeur raccordée à la galerie générale d'air vicié du tunnel à 13,00 de l'entrée. Travaillant en parallèle, ils peuvent être isolés par des vannes d'obturation décrites plus loin.

Leurs buses de refoulement sont raccordées à une galerie située sous le plancher de l'usine, conduisant l'air vicié à une cheminée forée dans le rocher, latéralement, à une distance d'environ 60 m de l'axe du tunnel.

Elle sera un peu plus haute que le rocher environnant pour éviter l'engorgement par l'eau et la neige.

Les appareillages électriques, H.T., transformateurs, télécommandes, etc. sont placés dans une salle de 55 m de longueur adjacente à l'usine air vicié avec une saillie de 8 m. l., côté usine air frais. Elle a une hauteur sous plafond de 3,49 m. l. suffisante pour loger les armoires H et B.T. et une largeur de 6,00 m. l.

Les deux usines sont accessibles aux camions à partir de l'extrémité de l'usine d'air frais. Des ponts roulants de 5 t permettent dans les deux usines l'enlèvement et le remplacement rapides des moteurs ou appareillages divers en panne.

La salle de commande est placée immédiatement à gauche du tunnel en entrant, un peu au-dessus du niveau de la chaussée.

Au niveau du plancher de l'usine, devant la salle des appareillages électriques, un passage souterrain pour voitures permet de relier sous la chaussée les deux côtés de la plate-forme ; des bâtiments de service sont situés de l'autre côté de ce passage".

5.6 Ensembles ventilateurs – moteurs – organes de transmission

"Les ventilateurs sont du type centrifuge à deux ouïes d'aspiration et sont équipés de roues avec aubes à profil d'ailes portantes.

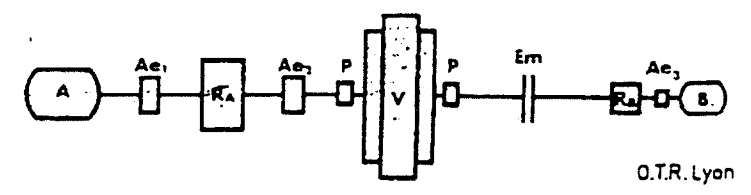
Les 5 ventilateurs d'air frais sont capables de débits unitaires de 75 m3/s sous des pressions respectives de 249, 393, 416, 440 mm CE. Les 3 ventilateurs d'air vicié sont capables de débits unitaires de 50 m 3/s sous 680 mm CE.

Il était intéressant de pouvoir relier 4 régimes de ventilation : 4/4, 3/4, 1/2, 1/4. La variation continue de marche avec asservissement aux détecteurs de pollution (CO, fumées), n'ayant pas été jugée nécessaire par les Sociétés Concessionnaires, les 4 régimes sont discontinus avec mise en marche manuelle. Les quatre régimes sont obtenus par la commande des ventilateurs au moyen de deux moteurs à deux vitesses montés chacun en bout d'arbre selon le schéma de la figure 10.

Entre le moteur électrique de forte puissance A et le ventilateur sont intercalés des accouplements élastiques, le premier Ae1 est fixe, le second Ae2 est débrayable à l'arrêt par une manœuvre manuelle avec une commande Almar Zah 100. On a ainsi le choix aux faibles régimes 1/4 et 1/2 de laisser embrayé ou non le gros moteur selon la période de l'année c'est-à-dire si l'on pense que les régimes supérieurs 3/4 et 4/4 seront utilisés, car dans le cas contraire, il vaut mieux éviter l'entraînement à vide du gros moteur par le petit. Ces accouplements de même que celui du côté du petit moteur sont à plots de caoutchouc amovibles. Ce sont des accouplements Eupex A 19 - C 18 et A 13. Les embrayages électro-magnétiques Em à denture placés entre le réducteur côté petit moteur B et les ventilateurs sont au contraire débrayables en marche. Ils sont asservis électriquement à la commande des régimes 3/4 et sont automatiquement débrayés quand le gros moteur A est mis sous tension.

L'ensemble de ces différents mécanismes occupe une très grande longueur pour chacun des groupes. C'est ainsi que l'ensemble à la longueur suivante :

Groupe 1 AF	:	*10,133 ml*
Groupes 2 à 5 AF	:	*10,320 ml*
Groupes 6 à 8 AV	:	*9,060 ml*



(schéma 21)

Lignes d'arbres des ventilateurs centrifuges

A - Moteur MOQR 1000 (SW) de 485/209 kW à 1000/750 t/min (Groupes 2 à 8) 272/118 kW à 1000/750 t/min (Groupe 1, type ACIDA 12-38-68)

Ae1 - Accouplement élastique EUPEX A19

RA - Multiplicateur de forte puissance R.T 12 pr (groupes 2 à 8), RT05 (groupe 1)

Ae2 - Accouplement élastique EUPEX C.18 débrayable avec commande ALMAR ZAH 10

P - Paliers Dodge.

V - Ventilateur.

Em - Embrayage magnétique kWa 400 (groupes 2 à 8) - kWa 250 (groupe 1)

RB - Réducteur de faible puissance RT03

Ae3 -Accouplement élastique EUPEX A13

B - Moteur AC 93 PV (Marelli) de 62.6/8,9 kW à 1 500/750 t/min. (groupes 2 à8) et de 35,5/3 kW à 1500/750 t/min. (groupe 1).



Usine d'air frais - Ventilateurs hélicoïdes, moteurs et gaines.

Usine d'air vicié - Ventilateurs hélicoïdes, moteurs et gaines.

L'arbre solidaire de la roue du ventilateur à lui seul a une longueur de 5,340 ml (AF1) - 5,910 ml (AF2 à 5) et 4,650 ml (AV 6 à 8), un diamètre de 350 mm (AF1) 420 mm (AF2 à 5) 300 mm (AV 6 à 8) et pèse 4,4 t (AF1 à 5).

Les roues doubles ont les caractéristiques suivantes :

	Diamètre ml	Poids t
AF1	1,676	1,35
AF 2 à 5	1,545	1,4
AV 6 à 8	1,525	1

Elles sont supportées par 2 coussinets Dodge de 7" à l'huile et circulation d'eau au lieu de paliers à billes ou à rouleaux en raison de la charge très importante.
Les hauteurs totales au sommet de la volute au-dessus du sol de l'usine et le poids de l'ensemble volute-hotte d'aspiration sont les suivants :

	H ml	Poids t
AF 1	3,580	5,2
AF 2 à 5	3,450	4,4
AV 6 à 8	2,910	4,3

Les gaines en tôle sont raccordées aux différentes galeries par des joints souples.
Les réducteurs de Messian RT 05 de forte puissance du groupe 1 transmettent 360 CV avec réduction de 960 à 845 t/m. Ils renferment un volume d'huile spéciale (à point de figeage très bas de – 23° C) de 80 l et sont réfrigérés par une circulation d'eau.

Les multiplicateurs de forte puissance RT 12 des groupes AF 2 à 5 et AV 6 à 8 transmettent une puissance 650 avec la multiplication 960 t/ 1 160 à 1 305 t/m selon les ventilateurs. Leur volume d'huile est de 108 l.

Les réducteurs de faible puissance :
RT 02 transmettent 45 CV avec une démultiplication de 1 440/423 t/m (AF 1)
RT 03 transmettent 85 CV avec une démultiplication de 1 440/580 à 607 t/m et 603 t/m (AV 6 à 8)
(AF 2 à 5 et AV 6 à 8).

L'isolement des ventilateurs d'air frais en panne s'opère par une vanne guillotine de 2,00 x 2,50 coulissant horizontalement avec manœuvre au treuil à main ce qui découvre le carneau correspondant avec le groupe de secours. L'isolement d'un ventilateur d'air vicié s'opère à l'amont de chaque ventilateur sur les deux hottes d'aspiration de 2,25 x 0,86 par des lames à axe horizontal de 0,26 de hauteur pivotant verticalement au moyen de biellettes de solidarisation.

Ces manœuvres s'opèrent manuellement dans l'usine française, elles sont motorisées du côté italien.

Le contrôle direct du soufflage des ventilateurs dans chacune des 4 gaines de ventilation s'opère depuis la salle de commande par 4 micro-venturi placés dans les galeries au départ de l'usine".

5.7 Moteurs

"Les moteurs sont tous alimentés sous 380 V entre phases même les moteurs de 650 CV.

Les petits moteurs construits par Marelli, en Italie, sont les modèles suivants :
AcD93/4-8 PV (AF 2 à 5) (AV 6 à 8), 1 470/735 tr/mn 65/10 kW.
AcMD 83/4-8 PV (AF1) 1 470/735 tr/mn, 37,6 kW.

Les gros moteurs ont été construits par "le Matériel électrique SW".
Ce sont des modèles MOQR 1000 de 485/209 kW à 1000/750 t/mn (AF2 à 5 et AV 6 à 8).

Pour le groupe AF 1, c'est un modèle Marelli Acl-DA 1 238/68 PV, 980/735 t/m, 272/118 kW.

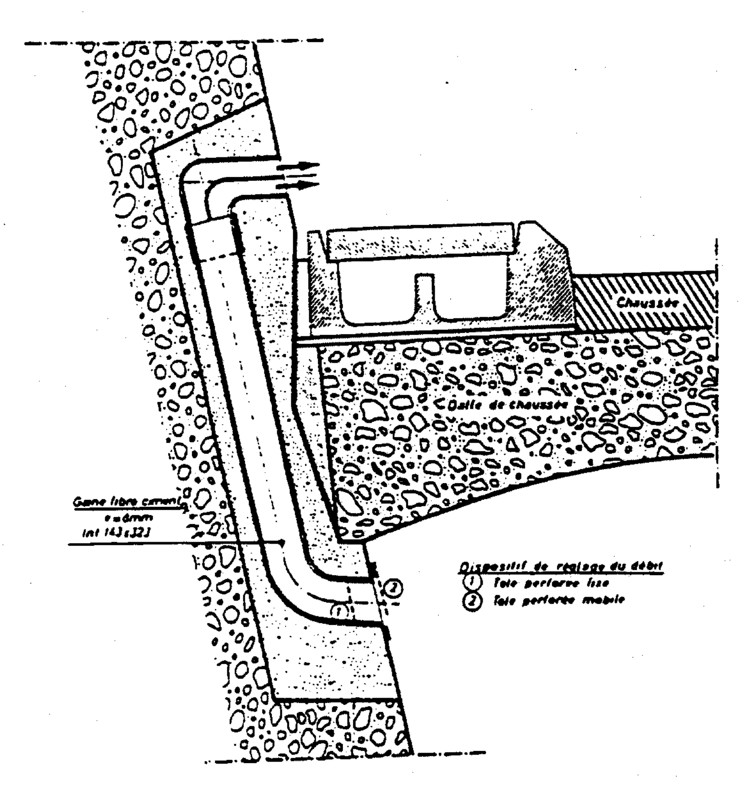
Ils sont du type protégé, grillagé, isolation de classe B par procédé Thermolastic, avec capsules thermostatiques pour contrôle de l'échauffement des bobinages, avec allumage d'une lampe témoin sur le tableau général de contrôle de la salle de commande.

En vue d'écarter les inconvénients résultant d'une longue immobilisation l'hiver, en période de faible trafic et en atmosphère humide, tous les moteurs sont équipés de résistance de réchauffage de 1 000 W et 850 W pour les gros moteurs et de 600 W et 450 W pour les petits moteurs.

Les armoires de démarrage sont placées dans la salle des machines à côté de chaque ventilateur contre le mur adossé à la montagne. Le démarrage ainsi que le passage des vitesses en montée et en descente est effectué par un programmateur qui évite la superposition des courants de démarrage et en descente permet depuis le régime 4/4 d'accrocher au passage le régime 3/4 en bénéficiant du ralentissement du groupe non alimenté par les frottements, ce qui évite d'attendre l'arrêt général et de recommencer à monter les différents régimes successifs".

5.8 Bouches de soufflage d'air frais et bouches d'aspiration d'air vicié

Bouche de soufflage d'air frais



"Ce sont des gaines en fibro-ciment de 8 mm d'épaisseur de section rectangulaire 0,32 x 0,12 qui sont encastrées dans le piédroit de la voûte du tunnel. D'une longueur de 1,30 m environ, elles amènent l'air de la galerie d'air frais jusqu'à 4 cm au-dessus du trottoir. Leur débit est réglé à l'amont au départ de la galerie d'alimentation par un système composé de deux tôles perforées de trous de 4 et 5 mm dans une proportion variable et placées à 75 mm l'une de l'autre, l'une fixe, l'autre mobile. Elles sont placées à des intervalles de 10 m sur le côté gauche en entrant dans le tunnel.

Elles débitent 512 l/s au régime maximum à une vitesse comprise entre 13 et 15 m/s. Le contrôle de la permanence du soufflage des bouches et la mesure de la vitesse correspondante s'effectuent depuis la salle de commande au moyen de 8 sondes à fil chaud placées à l'origine et à la fin de chacune des 4 galeries de distribution de 1 450 m.

Les bouches d'air vicié sont espacées de 300 m dans le tunnel, du côté droit en entrant, à l'extrémité des élargissements de chaussée des garages. Elles ont une section de 1,00 x 1,50 environ. Le réglage s'opère au moyen de volets placés dans la galerie d'air vicié.

Leur débit unitaire croît de :
q = 0,8 m3/s pour la 1ère bouche située au PM 250 à q = 15 m3/s pour la 19ème bouche située près du centre (PM 5650)

Le contrôle du débit de la dernière bouche d'air s'opère avec une sonde à fil chaud transmettant l'indication à la salle de commande".

5.9 Schéma électrique de l'usine de ventilation

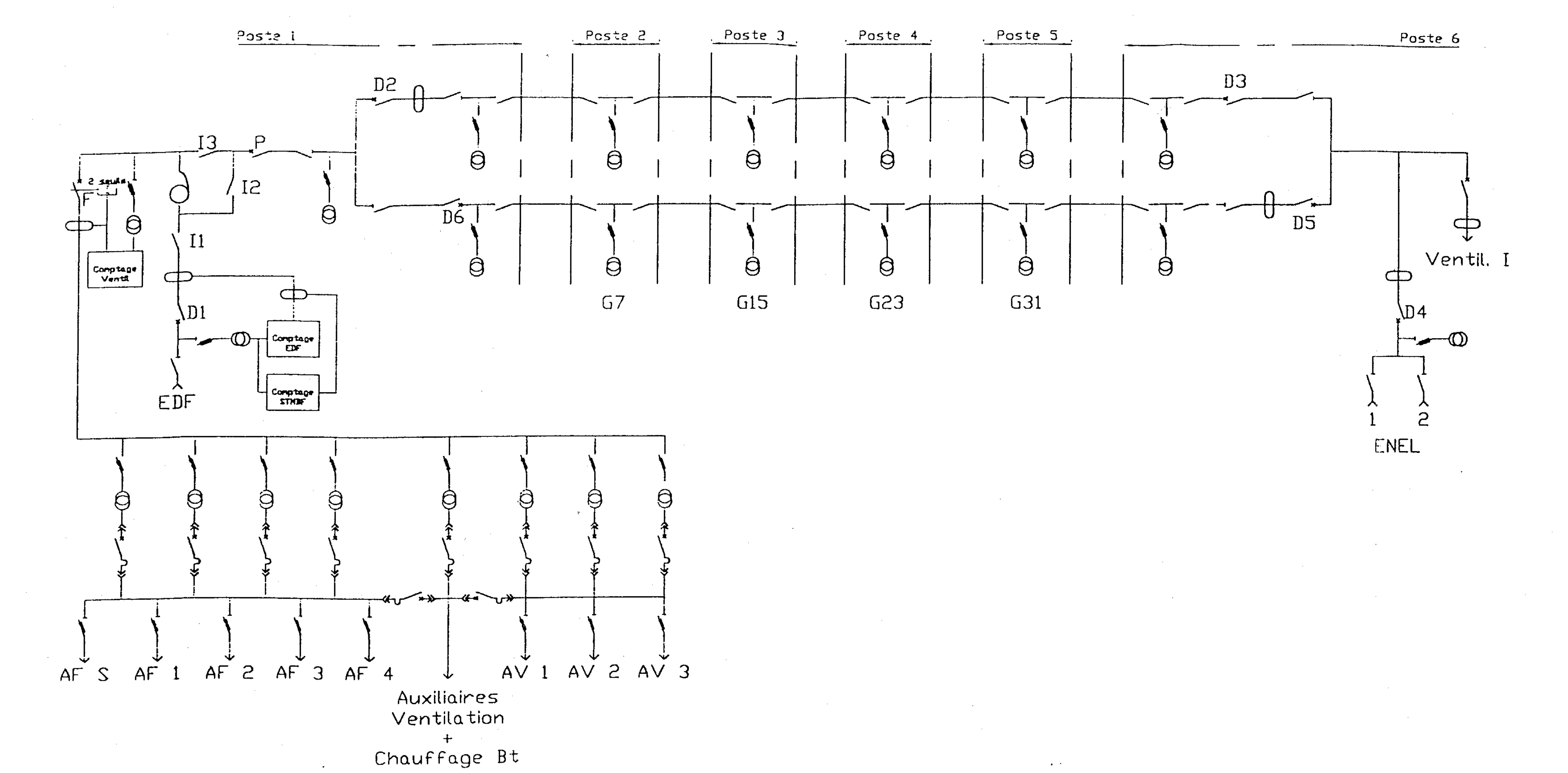
Schéma électrique initial

Le schéma unifilaire d'alimentation de l'usine de ventilation française est représenté sur la figure 12.

L'alimentation est faite par un branchement de 15 kV allant jusqu'au poste 60 kV des Pélerins. En outre, deux câbles 15 kV 3 x 30 mm2 relient l'usine française par le tunnel à l'alimentation italienne, ils sont capables de transporter 2 000 kW permettant l'alimentation à 3/4 de débit en régime permanent des groupes de ventilation. Le secours H.T. s'effectue dans un temps de l'ordre de 10 secondes".

Schéma électrique actuel

Ce schéma figure en page suivante.



ATMB
Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc
Direction d'Exploitation
74400 CHAMONIX

5.10 Salle de commande

"Placée à gauche en entrant, elle comporte :

- *Un pupitre de commande comportant pour sa partie située à gauche les commandes de ventilation ainsi que la signalisation des défauts divers : échauffement de paliers, des enroulements, etc.*
- *Un tableau lumineux schématisant l'ensemble du tunnel et répétant les régimes d'éclairage, la signalisation et le régime de marche des ventilateurs des deux usines de ventilation.*

Chacune des deux salles de commande peut commander la signalisation et l'éclairage de l'ensemble du tunnel mais la ventilation de chaque usine doit être commandée sur place. Il n'a en effet pas été jugé possible pour diverses raisons d'installer une télécommande des moteurs d'une usine par l'autre.
L'installation de cette salle de commande a été faite par C.G.E.E., et Hennequin, électricien d'Ameliorair".

5.11 Débuts de l'exploitation

"Les travaux de finition de la plate forme d'entrée terminés à mi-juillet et les résultats satisfaisants des essais préalables de sécurité, permettaient successivement l'inauguration officielle des travaux le 16 juillet 1965 par Monsieur le Président de la République, et l'ouverture aux usagers le 19 juillet.

Immédiatement et d'une façon presque continue pendant tout l'été, la ventilation de l'ouvrage a été mise à l'épreuve en raison du nombre élevé de demandes de passages.
Pendant une première période d'un mois, la capacité horaire a été limitée à 300 véh./h de 6 h 00 à 22 h 00.
Bien que de longues files d'attente se formaient à chaque entrée en raison de l'afflux des touristes, cette limitation était nécessaire pour permettre le rodage des installations et la formation du personnel.

La capacité journalière a été augmentée dès le 8 août jusqu'à 1 h du matin et dès le 19 août pendant 24 heures par jour et le maximum horaire porté à 450 véh./h tout en maintenant une teneur moyenne d'oxyde de carbone de 100 ppm. En fait des pointes de trafic de 500 à 600 véh./h ont été tolérées, et il est passé 162 677 voitures dans les deux sens pendant le mois d'août".

5.12 Comparaison avec le trafic actuel

Chiffres clés 1998 :

Trafic annuel :	près de 2 millions de véhicules
Trafic moyen journalier :	5 600 véhicules
Trafic commercial :	40 % des passages totaux
Trafic touristique :	60 % des passages totaux
Effectifs :	65 personnes à chaque tête

5.13 Evolution de l'exploitation

Document A.T.M.B. "ventilation de la partie française du tunnel, équipements et fonctionnement" du 28/04/99 :

A) Origine

"Ventilation d'air frais (AF) :

L'air frais insufflé dans le tunnel sur les 5800 mètres de la partie française est prélevé à la prise générale AF située à la tête française. Dans l'usine de ventilation AF se trouvent 4 groupes de ventilateurs du type centrifuge, plus un groupe de secours. Le transit ou la distribution de l'AF se fait par des gaines de ventilation disposées sous la dalle de chaussée selon les 4 profils des sections 1 à 4 (coupes AA à DD). Chaque ventilateur débite sur une section de 1450 m à l'aide de bouche AF située tous les dix mètres à la partie inférieure du piédroit Italie-France, qui régulent linéairement le débit.

Chaque ventilateur a quatre régimes de fonctionnement correspondant à 1/4, 2/4, 3/4, et 4/4 du débit maximal de 75 m3/s ; soit au total un débit maximal de 300 m3/s sur les 5800 m.

Les refuges sont alimentés en AF par la gaine AF de la section concernée.

Ventilation d'air vicié (AV) :

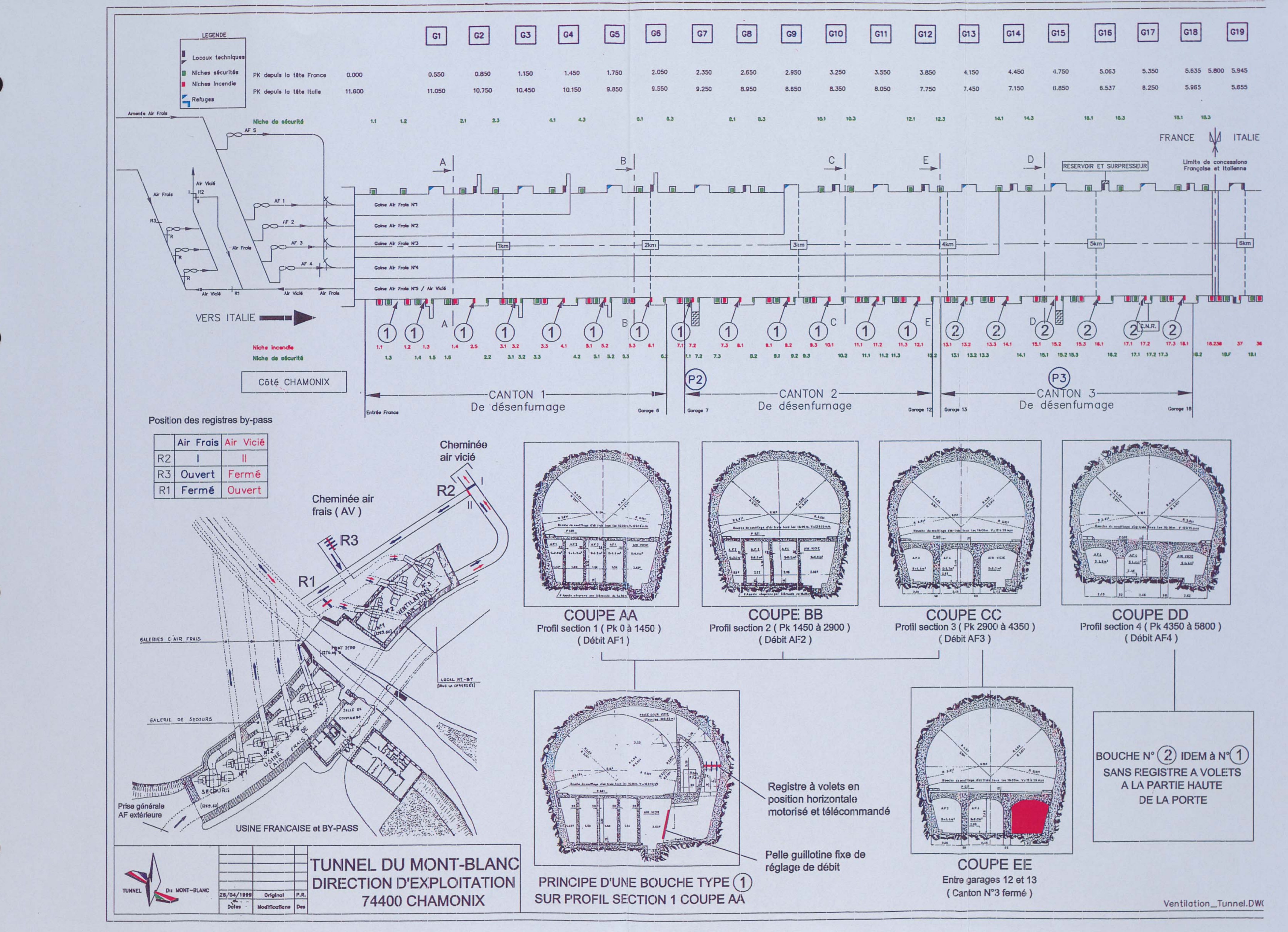
L'air vicié du tunnel est aspiré par une seule gaine AV disposée sous chaussée (sens France-Italie des coupes AA à DD) à l'aide de 19 bouches AV 1+ 2 réparties tous les 300 m sur le piédroit F-I ; pour 18 bouches à l'angle supérieur des garages (selon le principe du profil type) plus une bouche au PK 0,250 en piédroit. En tête de cette gaine, 3 groupes de ventilateurs couplés en parallèle, avec quatre régimes de fonctionnement correspondant à 1/4, 2/4, 3/4, et 4/4 d'un débit total maximal de 150 m3/s".

5.14 Schéma de fonctionnement actuel de la ventilation

Etat actuel de la ventilation

L'état actuel de la ventilation figure sur le document ci-après, établi le 26 avril 1999.

Remarque :
Les deux systèmes de ventilation ne communiquent pas entre eux et sont indépendants. Les gaines d'air AF et AV côté français et côté italien ne communiquent pas et sont séparées totalement par un cloisonnement épais en béton armé au PK 5800.



Position des registres by-pass

	Air Frais	Air Vicié
R2	I	II
R3	Ouvert	Fermé
R1	Fermé	Ouvert

6- TRANSFORMATIONS REALISEES SUR LE CIRCUIT DE VENTILATION DEPUIS SON ORIGINE POUR AMELIORER SES PERFORMANCES

"1979 :
Pour augmenter le débit d'air frais dans le tunnel l'équipement d'air vicié a été modifié, par la création de galeries annexes extérieures et à l'aide de trois registres (R1, R2, R3), il a été créé un by-pass permettant d'insuffler de l'air frais ou d'aspirer de l'air vicié si nécessaire, sans arrêter ni modifier le sens de rotation des ventilateurs.
Le temps de réversibilité de la fonction AF en AV pour obtenir 90 % de débit en AV, et suivant l'état et le régime initial est de 1,5 mn à 3 mn.

1980 :
Il a été réalisé et mis en service trois cantons de désenfumage :
n° 1 de l'entrée (PK 0) au garage n° 6 (PK 2,050)
n° 2 du garage n° 7 (PK 2,350) au garage n° 12 (PK 3,850)
n° 3 du garage n° 13 (PK 4,150) au garage n° 18 (PK 5,650)

Les trois cantons peuvent être sélectionnés et télécommandés depuis le PC français. Les deux premiers cantons sont sélectionnés grâce à des registres à volets motorisés, à deux positions ouvert/fermé, implantés à la partie haute des portes d'accès à la gaine AV de chaque garage. Pour le troisième canton un registre "papillon" à deux positions ouvert/fermé est disposé en pleine section entre les garages 12 et 13 de la gaine AV (coupe EE).
Le débit linéaire de chaque bouche AV est réglé par une "pelle" mécanique fixe posée à la partie basse de la bouche à la jonction avec la gaine AV (profil type).
L'air peut être insufflé ou aspiré en désenfumage dans l'un quelconque des trois cantons ou dans deux quelconque, ou dans trois à la fois.

NB 1981/1982 :
Construction d'un équipement d'extraction à la tête française :
- *pour la prise de la pollution totale du tunnel avec un débit maximal de 450 m3/s au PK 0,110 (de la courbe de sortie française) ;*
- *permet de contrecarrer les contre-pressions atmosphériques naturellement F-I (350j/365j) – différence d'altitude > à 100 m ;*
- *permet d'éviter la sortie sur la plate-forme française de la pollution longitudinale I-F du tunnel et de "balayer" la pollution de la courbe par une entrée d'air frais de 1 m/s F-I ;*

- *permet de modifier la vitesse de l'écoulement de l'air dans la partie française du tunnel et de stabiliser la zone neutre des écoulements longitudinaux F-I, I-F au centre du tunnel (meilleure efficacité de l'air frais injecté à chaque tête)".*

7- DESCRIPTION SUCCINCTE DE L'OUVRAGE ET DE SA CONSTRUCTION COTE ITALIEN

Rappel des travaux côté italien selon des extraits du rapport de Monsieur le Professeur Ingénieur Vittorio ZIGNOLI (1963) traduit avec l'obligeance de Maître ASSO, Conseil de la Société S.I.T.M.B.

7.1 Préambule

Le principe de la construction du tunnel est très important, car il permet de comprendre, au travers des difficultés qu'ont rencontrées les constructeurs, les raisons de la faible résistance des bétons mis en place dans certaines parties du tunnel pour construire la voûte.

7.2 Description de l'ouvrage et sa construction côté italien

7.2.1 Exécution des travaux : chronologie

Le 8 janvier 1959, la charge des travaux est confiée à la Societa Italiana per Condotte d'Acqua de Rome, qui a été choisie pour assumer les travaux d'excavation et de revêtement du tunnel.

Le 19 janvier, les travaux sur la partie française sont confiés par adjudication à un groupe d'entreprises chapeautées par la Société A. Borie.

Dans les premiers temps, l'avancée sembla facile.

Dès les premiers jours de rodage du chantier, on avançait au rythme de 8-10 m/jour, effectuant jusqu'à 3 explosions de 4 m chacune.

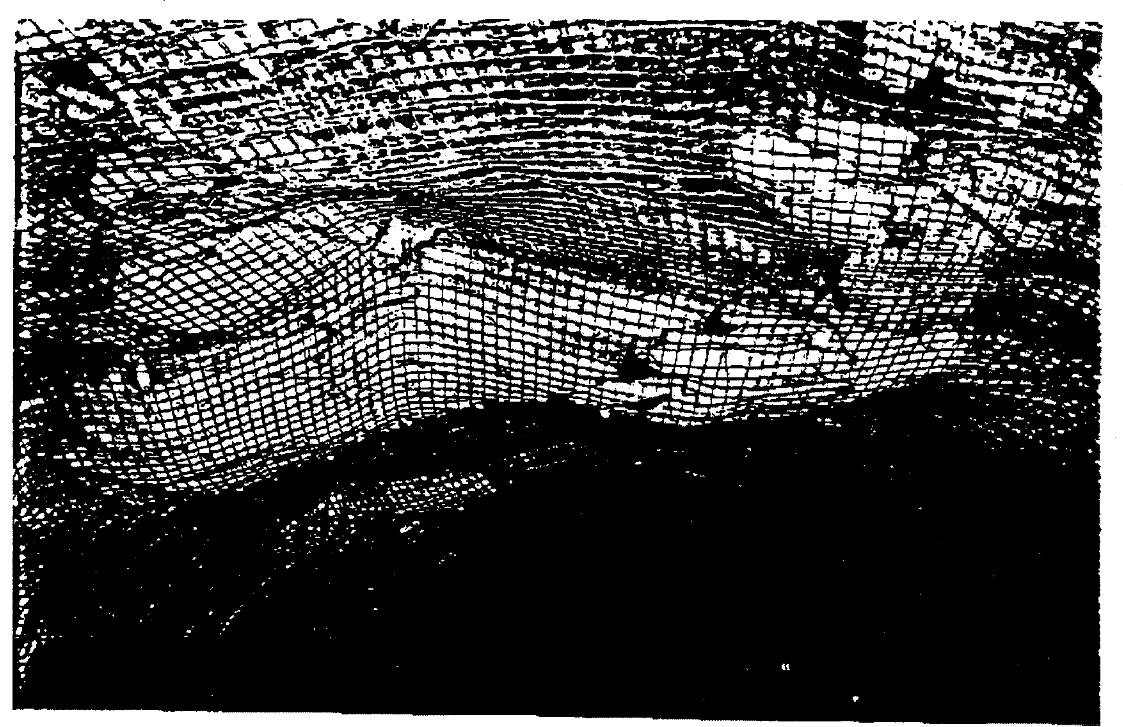
Ensuite, les difficultés apparurent. Le 20 février 1959, au niveau 368,20, de puissants jets d'eau pressurée d'un débit de 350 l/s envahirent le tunnel.
Le 6 avril 1959 au niveau 501, on tomba sur une nappe de phyllades carbonées, il se forma un fourneau, la voûte s'écroula et un éboulement d'une centaine de tonnes envahit le tunnel ensevelissant le jumbo et l'ensemble des équipements.

L'éboulement s'étendit sur près de 100 m dans le tunnel et on mit 100 jours pour traverser la zone dangereuse à travers une galerie après quoi, on avança en calotte à mi-section, l'avancement sur la partie entière étant jugé trop dangereux.

Le 12 août 1959, au niveau 809, on assista à un deuxième éboulement malgré les anticipations inspirées du premier ; on mit 59 jours à dépasser les 50 m sinistrés. En novembre 1959, on atteignit le niveau 1 000 et le 15 décembre au niveau 1 304 on tomba sur les premières plaques de protogine, le fameux granit du Mont Blanc. A ce niveau, considérant que les surprises se feraient moins amères, on jugea opportun de retourner au niveau 501 pour élargir la section et avancer plus librement sur une voie de circulation apprêtée.

Le 11 avril 1960, on mit en service un second jumbo à 4 niveaux d'un poids de 40 tonnes, on recommença à avancer sur la partie entière. Mais des tombées de roches se manifestèrent rapidement, sous forme de décollements presque explosifs dus au tassement élastique de la masse creusée. On dut recourir au boulonnage pour soutenir la calotte en adaptant des filets contenant des morceaux épars pour éviter les infortunes. La figure 34 montre la voûte protégée par les filets et montre comment celle-ci soutient même les décollements les plus lourds.

Fonctionnement des filets de protection cloués.
(schéma 22)



Il fut justement nécessaire d'assurer pendant le dégagement, la stabilité de la voûte et le soutien des filets, ce qui prolongea considérablement le délai respectif qui souvent dépassait les 5 heures, ce qui nous amena jusqu'en mai et en juin 1960 après 41 h de travail pour clouer également le front de l'avancée.

Effondrement de calotte au niveau 3122-3125 le 8 avril 1961

L'avancée se poursuivit à un rythme irrégulier avec la même difficulté jusqu'au 25 avril 1960 lorsqu'au niveau 3078,40, on tomba dans une zone de granit complètement décomposé et imprégné d'eau. L'avancée ralentit sensiblement, on creusa à 240 m en l'espace d'un peu plus de 5 mois. Une fois passée la zone fracturée, on creusa à 250 m de tunnel en moins de 2 mois sur la partie entière.

Le 10 décembre 1960 au niveau 3660, on fit face à une coulée d'eau dont le débit au départ frôlait les 1 000 l/s et inonda le tunnel d'une nappe d'eau de 40 cm. Vers la fin de l'année, le débit décrut autour de 300 l/s par l'effet des nappes laissées derrière, qui alimentèrent un ruisseau de près de 700 l/s.
Début 1961, on atteignit le niveau 3 701,50 ; en janvier, on avança avec une certaine difficulté, mais la roche s'améliora progressivement, si bien qu'en février, on avança sur la partie entière à 246 m. Ce fut la vitesse maximale enregistrée sur la partie entière sur les deux versants.

Ensuite, la roche se fit moins accessible au point qu'au niveau 4109, on décida par mesure de précaution, d'avancer sur une partie réduite, en calotte à 52,60 m² au lieu de 75,38.

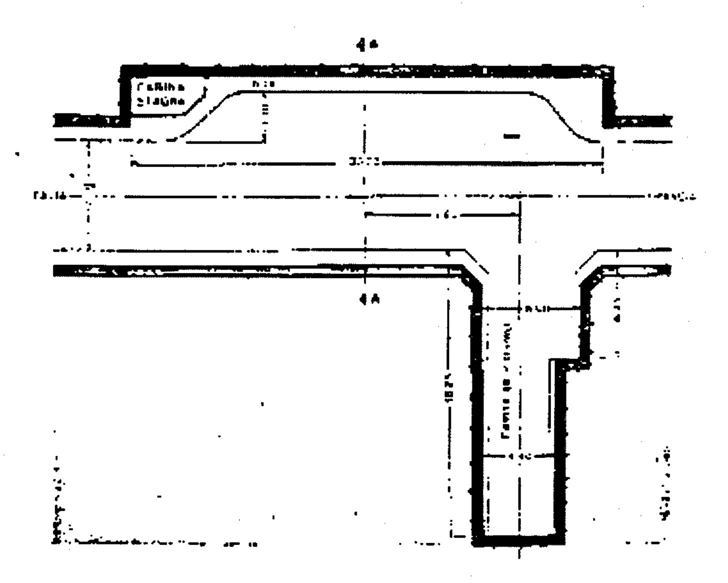
Le 5 avril 1961, au niveau 4417, trois avalanches successives comme on n'en avait jamais vu de mémoire d'homme, s'étalant le long de la Brenwa, glissèrent sur l'extrémité du chantier et par effet de souffle, firent s'écrouler des baraques, provoquant 3 morts parmi les ouvriers et 30 blessés.

Après une pause bien compréhensible, on reprit le travail et au fur et à mesure que la roche se faisant moins ardue, elle devint fébrile.

A partir de juin 1961, l'avancée s'éleva à 404,80 m avec des pointes de 17,80 par jour ; la moitié du tunnel où prenait fin la partie italienne au niveau 5800, fut atteinte le 3 août à 22 h 01 et le 14 du même mois, la cloison qui séparait encore les deux avancées tombait.

Il restait cependant encore à compléter le forage sur la partie entière et on devait exécuter les élargissements prévus pour les parcages selon la figure 37.

Figure 37 – projet de parcages à creuser à chaque 300 m en alternant le côté droit et le côté gauche. La profondeur de la cavité fut ensuite réduite au vu de la faible résistance de la roche.



7.2.2 Dérochement de la galerie

Le chantier italien et ses équipements

Les travaux de forage ont été précédés d'une étude soigneuse du chantier et des modalités d'exécution de l'entreprise en charge de ces travaux.

Forage

Avant d'amorcer le travail, de nombreux essais ont été menés sur la pierre à l'entrée avec divers types de foreuses. Les conclusions des résultats sont reportées tableau XVII ; sur la base de celles-ci, l'utilisation de foreuses légères a été préconisée, et l'avancement fut amorcé sur la partie entière au moyen d'un jumbo sur lequel avaient été montés 18 marteaux-piolets Atlas Copco Tigre de 27 kg, dont on garantissait l'efficacité optimale jusqu'au terme des travaux.

Arcs inversés

Contrairement à ce qui était prévu, la nécessité de recourir à l'arc inversé se présenta uniquement sur une petite partie le long de laquelle on scella dans le revêtement des cintres polycentriques constitués de 2 I NP 20 conçus pour contenir les marnes carbonées fortement repoussantes même au pied.

Pression de la roche

Pendant le travail, on veilla à contrôler en premier lieu l'applicabilité de la formule empirique de Terzaghi à la pointe de la roche.

Formule : soit b la largeur du tunnel et h la hauteur en m, la charge pesant sur la calotte est considérée équivalente au poids d'une roche de taille H donnée par :

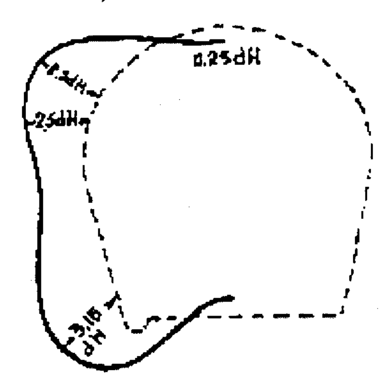
H = k (b + h) indépendant du niveau du toit.

Dans le cas qui nous intéresse, soit le creusement b = 10 m environ et h = 10 m environ, après avoir contrôlé dans la zone des marnes carbonées des pressions de l'ordre de 3 kg/cm², par roche de poids spécifique de 2,5 environ, le taux k = 0,6.

Là où la roche était discrète, la pression maximale resta autour d'1 kg/cm² indépendamment de l'épaisseur de la roche sous-jacente qui, à certains endroits, dépassa les 2000 m.

Même la règle empirique utilisée habituellement pour le calcul du bétonnage donnée par la figure 39 en fonction de d = poids spécifique de la roche et H1 la hauteur du toit, pour les poussées probables le long du périmètre du creusement, se révéla assez crédible ; en effet, pour d = 2,5 et H1 = 2000 m, la pression maximale latérale devait avoisiner 3,15 × 2,5 × 2000 = 15,750 t par m², c'est-à-dire 1,57 kg par cm² ce qui fut, supérieur de 50 % à la poussée relevée pour la roche adaptée au bétonnage.

Figure 39 – pression de la roche
(schéma 25)



Dans les zones où la pression fut notable, on jeta immédiatement dans la calotte des revêtements provisoires par mesure de précaution suggérée par le Directeur des travaux de la Concession, l'ingénieur G. Catalano, visant à renforcer la calotte de soupapes en cas de défaut de fermeture et de poussées exceptionnelles. Cette décision se révéla fort utile dans la mesure où même là où la voûte se fissura, des blocs de revêtement ne sont pas tombés et les soupapes se déformèrent considérablement sans pour autant céder.

7.2.3 Réalisation du génie civil et du revêtement : Bétonnage

Les premiers temps, on utilisa la grande installation externe de bétonnage qui se révéla ensuite très utile également pour d'importants travaux en plein air. Une bétonnière sur rails transportait le bétonnage correspondant aux coffrages télescopiques d'acier qui recouvraient 6 m de tunnel sur tout le périmètre. Les dispositifs de coulée tassaient le bétonnage sous toutes ses formes.

Par la suite, au vu de la taille de l'espace de travail et de la vitesse limitée des dumpers à cause des obstructions, on nota que le transport de l'extérieur donnait lieu à des ségrégations, diminuant la résistance des coulées de béton.

On préféra transporter à l'intérieur l'alliage sec, pour compléter l'ouvrage en ajoutant de l'eau sur le poste de travail et pour effectuer la coulée. Le déchargement au sol et la reprise au moyen de pelleteuses ou de pelles manuelles donnait lieu à des ségrégations et à une moindre résistance de la coulée.

Ventilation pendant les travaux
La ventilation du chantier aux fins d'extraction des gaz de combustion des Diesels des pelleteuses et des dumpers et de désenfumage suite aux explosions, s'effectua initialement au moyen d'une canalisation d'acier de 2 m de diamètre, équipée de trois ventilateurs électriques hélicoïdaux Borla d'une puissance de 360 CV chacun. Par la suite, au vu de l'étendue du chantier, on ajouta un deuxième tube d'acier de 2,50 m de diamètre desservi par trois ventilateurs électriques hélicoïdaux de 540 CV.

La puissance totale à terme s'élevait à 2 700 CV, la prévalence des ventilateurs de 270 mm de H20, le débit total de l'air injecté dans le tunnel de 500 000 m^3/h (138m^3/s).

Air comprimé
Il fut produit par une centrale externe équipée de 10 compresseurs de 25 000 l chacun, dotés de moteurs de 210 CV.
La canalisation de sortie de la centrale avait un diamètre de 300 mm. L'air comprimé servait non seulement aux marteaux-piolets mais également aux moteurs, aux treuils, aux ventilateurs, aux pompes à éduction, etc...

Energie électrique
La cabine externe recevait l'énergie à 12 KV et fournissait 220 V pour les moteurs électriques externes. La puissance installée s'éleva à 4 500 KVA.

Hébergements et services
La capacité d'hébergement maximale était de 600 personnes parmi les directeurs, techniciens et ouvriers.

7.2.4 Le plancher : galeries en caissons préfabriqués

Le creusement est subdivisé en deux parties, la partie inférieure destinée aux conduits de ventilation et la partie supérieure pour la circulation ; celles-ci sont séparées par une dalle dont les nervures hautes inférieures délimitent justement les conduits de ventilation.

La dalle fait l'objet de sollicitations notables dues aux chargements militaires italiens et français qui, sur la base du cahier des charges, doivent être admis dans le tunnel, ainsi que les actions thermiques créées par la différence de température qui peut survenir entre la partie supérieure de la dalle qui, dans certaines zones du tunnel peut atteindre les 20-25°C et la partie inférieure qui au contact de l'air pur et frais aspiré descend parfois à – 30°C.

En outre, il est nécessaire que les cloisons verticales puissent supporter un maximum de différence de pression entre le conduit d'air pressuré et celui de l'air impur dépressuré, ainsi que la différence relative de température, sans donner lieu à des fissurations pouvant occasionner des pertes importantes avec pollution de l'air pur injecté.

D'un autre côté, il était impossible d'envisager les monolithes pour l'ensemble d'une partie à cause des dilatations, et l'utilisation d'un tel nombre de plaques successives de 10 m de longueur avec liaisons et raccords aurait provoqué ce martèlement gênant qui caractérise les autoroutes à plaques de béton sur la voie et les liaisons, et auraient également fourni peu de garanties quant au risque de fuites.

En tenant compte de ces difficultés, après de longues études et discussions, on jugea opportun d'utiliser des dalles précomprimées.

L'appel d'offres pour la fourniture du plancher de ce type fut gagné par la Societa Italiana per Condotte d'Acqua laquelle, au vu de la difficulté d'obtenir des coulées de qualité en opérant dans le tunnel là où d'autres travaux avaient lieu, et tenant compte également de l'urgence de la consigne, proposa une méthode élégante de construction au moyen de blocs préfabriqués à la vapeur d'un poids de 80-100 tonnes chacun, d'une longueur de 10 m, au rythme de 3 blocs par jour, soit 30 m de plancher constitué quotidiennement.

La Société présenta un programme de production des blocs dans un hangar approprié, leur transport dans le tunnel par un train spécial sur pneus d'une capacité de 100 tonnes (figure 43) et leur dépôt au moyen d'une grue à chevalets coulissants dans le tunnel d'une capacité de 100 tonnes.

L'installation qui, était vraiment exceptionnelle, a fonctionné à une cadence supérieure à ce qui était prévu.

7.2.5 Coupes sur les garages de la concession italienne

Les coupes sur les garages de la concession italienne depuis le garage 19 jusqu'en Italie garage 36 figurent en pages suivantes.

Tous les 300 mètres, des garages ont été construits dont les coupes figurent ci-après. Les garages possèdent un revêtement en béton de même nature que le tunnel proprement dit.

Dans ces garages sont situés les bouches d'extraction d'air vicié, et les aménagements par refuge coupe feu alternés avec les abris sur coupe feu.

(cf. coupes théoriques sur les garages en pages suivantes)